

NORMA DE CONSTRUCCIÓN

NC-RA6-010

Puesta a tierra de redes de distribución eléctrica

Control de cambios						
Versión ¹	Revisión ²	Fecha	Naturaleza del cambio	Elaboró	Revisó	Aprobó
3	0	2023-01-24	<ol style="list-style-type: none"> Homologación de la norma de construcción con las filiales nacionales de Energía. Actualización del contenido de los numerales 4.3, 5. Inclusión de los numerales 2 y 3. Traslado de conceptos y numerales asociados a la guía metodológica. 	CET ¹	Jefe Unidad CET NyL ²	Gerente CET ³
EPM CET NyL: Johan Sebastian Higueta Higueta, Gabriel Jaime Romero Choperena ¹ ; Área Proyectos CHEC – CET: José Narces Orozco Galeano, Leonardo Molina Arias ¹ ; Área Proyectos ESSA – CET: Fredy Antonio Pico Sanchez ¹ ; Área Gestión Operativa EDEQ – CET: Orlando Iván Ramírez Morales ¹ ; Área Proyectos CENS – CET: Laura Burgos Graterón ¹ ; Ramón Héctor Ortiz Tamayo ² ; Luis Fernando Aristizábal Gil ³						D0323010024023

¹ La versión es un estado documental que corresponde a cambios de fondo en el contenido de la norma.

² La revisión es un estado documental que obedece a cambios de forma y no sustanciales en el contenido de la norma. Se podrán tener varias revisiones para una única versión.

El uso de este documento es gratuito. No obstante, se prohíbe su reproducción y/o alteración total o parcial sin la autorización expresa de las empresas del Grupo EPM. Cualquier uso y/o aplicación de los documentos o su contenido es responsabilidad exclusiva de quien la efectúa.

Contenido

CONTENIDO.....	2
1. ALCANCE.....	4
2. DEFINICIONES.....	4
3. GENERALIDADES.....	4
4. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.....	5
4.1. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	5
4.2. CORRIENTES A TIERRA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	5
4.3. CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	9
4.4. NOTAS GENERALES.....	14
5. EQUIPOTENCIALIZACIÓN BÁSICA DE LAS ESTRUCTURAS.....	14
5.1. BAJANTE DE PUESTA A TIERRA.....	15
5.2. CABLE DE GUARDA.....	16
5.3. CRUCETAS METÁLICAS.....	16
5.4. RETENIDAS.....	17
5.5. POSTES.....	17
5.5.1. Poste de concreto.....	17
5.5.2. Poste metálico.....	19
5.5.3. Poste de poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV).....	19
6. RED AISLADA Y SEMIAISLADA.....	19
7. REFERENCIAS.....	20

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo varilla en función de la resistividad del terreno</i>	10
Tabla 2. <i>Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo anillo en función de la resistividad del terreno</i>	10
Tabla 3. <i>Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo triada en función de la resistividad del terreno</i>	12
Tabla 4. <i>Bajante de puesta a tierra</i>	15
Tabla 5. <i>Cable de guarda</i>	16

Lista de figuras

Figura 1. <i>Representación de referencia - corrientes a tierra en una red trifásica de media tensión</i>	7
Figura 2. <i>Representación de referencia - corrientes a tierra en un transformador conectado a una red trifásica de media tensión</i>	8
Figura 3. <i>Detalles de conexión en sistemas de puesta a tierra</i>	12
Figura 4. <i>Configuración del sistema de puesta a tierra para corrientes de falla elevadas</i>	13
Figura 5. <i>Adecuación de puesta a tierra para poste de concreto</i>	18
Figura 6. <i>Pernos y conectores de puesta a tierra para postes</i>	18
Figura 7. <i>Bajante de puesta a tierra, acceso agujero C1 y salida agujero C2</i>	19

1. Alcance

Esta norma tiene como propósito establecer los requisitos técnicos, criterios y recomendaciones para definición, adecuación e instalación de los sistemas de puesta a tierra requeridos en las redes de distribución de energía eléctrica en media y baja tensión del Grupo EPM.

Además, la norma establece las configuraciones básicas de puesta a tierra y los materiales a emplearse en el sistema de distribución, previendo que, con ellos se garantice la seguridad para las personas, la protección de las instalaciones, obtener la resistencia de puesta a tierra adecuada en relación con la resistividad que posea el terreno y la compatibilidad electromagnética, todo de acuerdo con las exigencias establecidas por el RETIE. Los conceptos básicos relacionados con los sistemas de puesta a tierra pueden ser consultados en la GM-04 Guía Metodológica *Cálculo del sistema de puesta a tierra* y, aquellos elementos para la medición de resistividad del suelo en la norma técnica RA6-014.

2. Definiciones

Conductor desnudo: conductor eléctrico que se caracteriza por no tener capa aislante o semiconductora. Estos conductores son usados para transmisión y distribución de energía eléctrica principalmente en redes de distribución del tipo aérea (IEEE, 2017).

Operador de Red (OR): empresa de servicios públicos encargada de la planeación de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional (STR) o Sistema de Distribución Local (SDL); los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. Para todos los propósitos son las empresas que tienen Cargos por Uso de los STR's y /o SDL's aprobados por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Puesta a tierra: 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. (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

3. Generalidades

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) establece en el *numeral 10.1 Diseño de las instalaciones eléctricas*, que, como parte del diseño detallado de redes de distribución de energía, se deben considerar sistemas de puesta a tierra, los cuales deben ser calculados, diseñados y construidos 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” (Ministerio de Minas y Energía, 2013). En adelante, se

presentan los requisitos y recomendaciones para la construcción de sistemas de puesta a tierra en redes aéreas de distribución, teniendo como base de requisitos lo establecido en el RETIE, Artículo 15 “Sistema de puesta a tierra” y las recomendaciones del NESC.

4. Sistemas de puesta a tierra en sistemas de distribución de energía

Toda instalación eléctrica, 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.

La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal 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.

4.1. 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 15.4 del RETIE. 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 las máximas permitidas. De acuerdo con lo establecido dicha tabla, el valor de referencia de resistencia de puesta a tierra para subestaciones de media tensión y para protección contra rayos es de 10 Ohmios.

Si se presentan altos valores de resistividad del terreno, elevadas corrientes de falla a tierra o prolongados tiempos de despeje, se deben aplicar las medidas establecidas en el artículo 15.4 del RETIE para no exponer a las personas a tensiones que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano.

4.2. Corrientes a tierra en redes de distribución

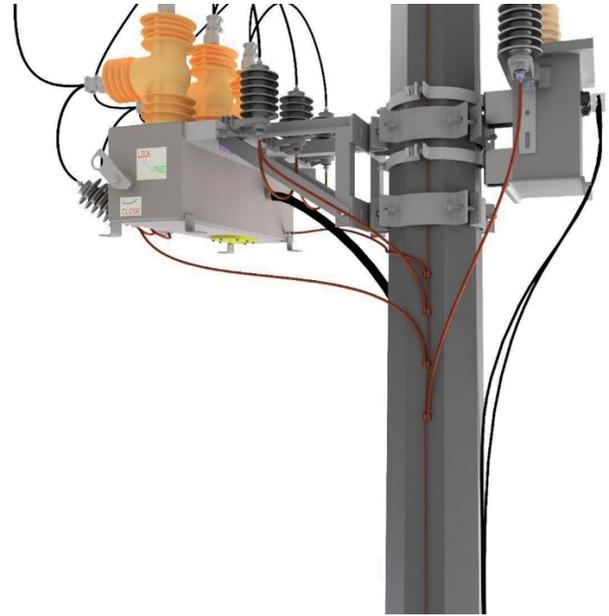
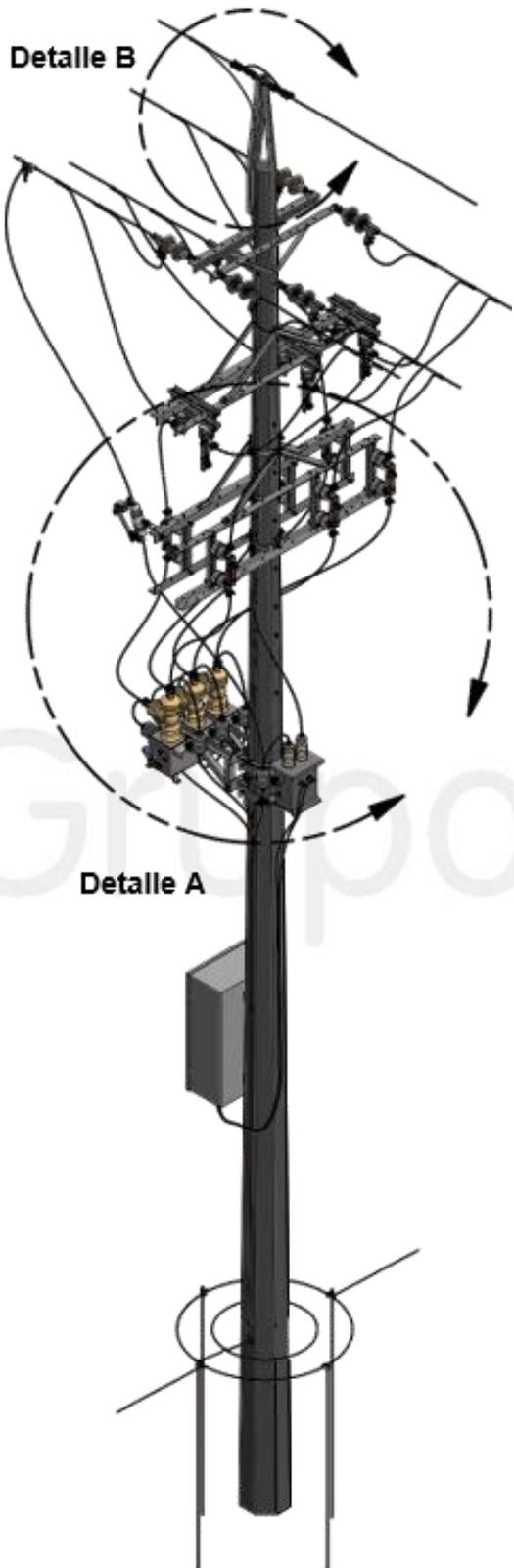
En la red distribución de energía los sistemas de puesta a tierra deben disipar corrientes de dos fuentes: la corriente de fallas propias del sistema eléctrico y la corriente generada por descargas eléctricas atmosféricas. La magnitud de la corriente a tierra en caso de falla se determina como se presenta en el capítulo correspondiente al cálculo de la corriente efectiva de falla del documento GM-04 Guía metodológica: cálculo del sistema de puesta a tierra (EPM, 2019), considerando que esta corriente varía de acuerdo con la topología de la red estudiada. De todas formas, el sistema de puesta a tierra se debe diseñar para mantener los valores de las tensiones de paso y contacto dentro de los límites tolerables, como lo describe la misma guía, conforme con lo estipulado en el RETIE.

En el caso de las corrientes originadas por descargas eléctricas atmosféricas, debido a la característica transitoria del fenómeno, se debe garantizar un camino continuo de baja impedancia a tierra por medio de un sistema que térmicamente soporte las condiciones del impulso atmosférico. Tal es el caso de los DPS en redes de media tensión sin neutro y sin cable de guarda, donde se debe garantizar que se cumpla con el valor de referencia de resistencia de puesta a tierra de 10 ohmios, calibre mínimo No 4 AWG, capacidad de cortocircuito, conexión de modo común, y demás requisitos de instalación recomendados por el RETIE. Es de prever que, en el caso específico de sistemas eléctricos de media tensión sin neutro y sin cable de guarda, ante una descarga atmosférica se puede configurar una falla en el aislamiento que origine una falla a tierra con magnitudes de corriente de falla local que pueden ser muy alta, esto ante la ausencia de un neutro que la distribuya en el sistema.

La Figura 1 ilustra el caso de una red de media tensión trifásica con cable de guarda o neutro corrido puesto a tierra a largo de la red y sin redes de baja tensión, en cuyo caso, el sistema de puesta a tierra debe soportar y disipar las corrientes por descargas atmosféricas que circulan por los DPS y la corriente de una falla monofásica local. En el caso de una estructura que son compartidas con redes de media y baja tensión, como se muestra en la Figura 2, el sistema de puesta a tierra considerado debe soportar y disipar tanto la corriente a tierra producida por una eventual falla en el lado de baja del transformador como las posibles corrientes por descargas atmosféricas que circulen por los DPS.

Grupo epm[®]

Figura 1. Representación de referencia - corrientes a tierra en una red trifásica de media tensión

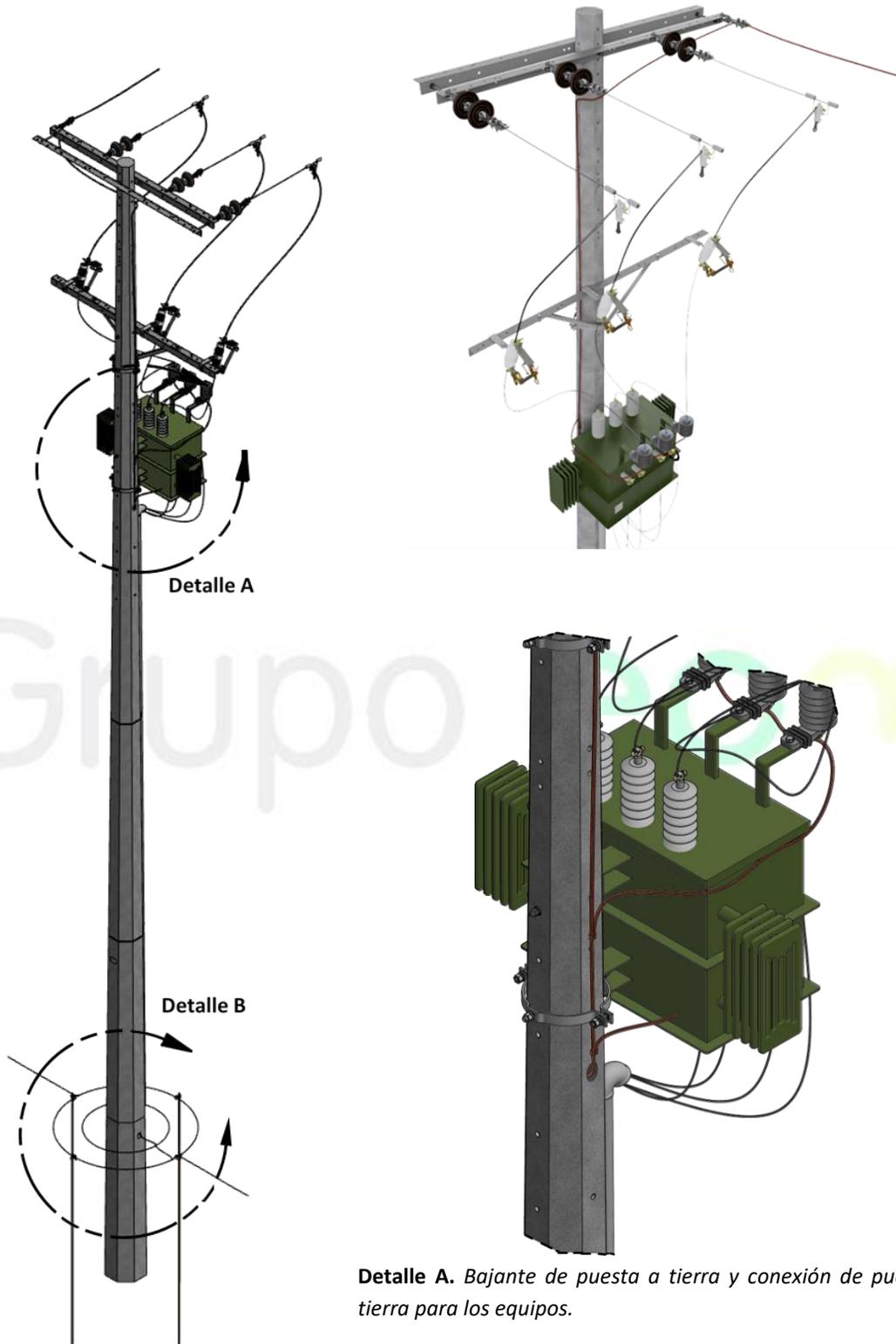


Detalle A. Bajante de puesta a tierra y conexión de puesta a tierra para los equipos.



Detalle B. Conexión del bajante de puesta a tierra al conductor de neutro o cable de guarda.

Figura 2. Representación de referencia - corrientes a tierra en un transformador conectado a una red trifásica de media tensión



Detalle A

Detalle B

Detalle A. Bajante de puesta a tierra y conexión de puesta a tierra para los equipos.

Detalle B. Puesta a tierra – ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

4.3. Configuraciones básicas de los sistemas de puesta a tierra

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas y sin eximir al diseñador de presentar el cálculo que justifique el diseño del sistema de puesta a tierra en cada proyecto específico, de acuerdo con los requerimientos del RETIE y de la normativa del Grupo EPM, a continuación, se presentan algunas configuraciones de puesta a tierra que satisfacen los criterios de seguridad ante tensiones de contacto y de paso bajo las condiciones de corriente a tierra y resistividad del terreno suministradas:

- a. Para una correcta aplicación de las configuraciones propuestas en esta norma, inicialmente se debe medir la resistividad del terreno conforme al procedimiento establecido en la norma técnica RA6- 014 *Mediciones para el sistema de puesta a tierra*. El valor de resistividad a verificar en las configuraciones 1, 2, 3 y 4, deberá ser el promedio de los valores obtenidos con los espaciamientos a 1, 2, 4 y 6 metros.
- b. La corriente a tierra para seleccionar la configuración se debe estimar de acuerdo con el procedimiento establecido en el documento GM-04 Guía metodológica: cálculo del sistema de puesta a tierra.
- c. Las configuraciones se deben emplear en orden ascendente de acuerdo con el valor de resistividad obtenido de las medidas del terreno. En ningún caso se debe emplear una configuración superior al valor máximo de resistividad establecido en la tabla de referencia, ya que no se podrán garantizar las tensiones de contacto y de paso permisibles para el ser humano.
- d. El valor de la intensidad que se presenta para cada configuración corresponde a la corriente a tierra máxima en la cual esta configuración operaría dentro de rangos de tensión de paso y contacto seguros durante una eventual falla.
- e. Cuando se requiera poner a tierra las redes secundarias de baja tensión, se deberá emplear como mínimo el esquema número 1 de la configuración 2 para todo el rango de resistividades.
- f. A nivel urbano, se deberá poner a tierra el neutro de la red de baja tensión en el poste de ubicación del transformador de distribución y en la vivienda de cada usuario a la llegada de la acometida.
- g. A nivel rural, se deberá llevar a tierra el neutro de la red secundaria en el poste de ubicación del transformador de distribución, en los apoyos finales del circuito y, por último, en la vivienda de cada usuario a la llegada de la acometida.

La configuración 1 tipo anillo se recomiendan para redes de distribución urbanas en media tensión. La configuración 2 tipo varilla se recomienda para poner a tierra las redes de distribución rurales en media tensión, mientras que la configuración 3 tipo triada se recomiendan para casos especiales en los cuales

se requieran sistemas más robustos. Si se requieren obtener bajos valores de resistencia de puesta a tierra, se deberá seleccionar la configuración de puesta a tierra que técnica y económicamente permita lograr el valor objetivo.

Tabla 1. Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo varilla en función de la resistividad del terreno

No.	Varillas Configuración	Resistividad [Ω -m]														
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1400	1500	1600	2000
1		19 [Ω]	37 [Ω]													
		47 [A]	24 [A]													
2		16 [Ω]	31 [Ω]	46 [Ω]												
		69 [A]	34 [A]	23 [A]												
3		13 [Ω]	25 [Ω]	38 [Ω]	50 [Ω]	62 [Ω]	75 [Ω]									
		83 [A]	41 [A]	28 [A]	21 [A]	17 [A]	14 [A]									
4		11 [Ω]	21 [Ω]	32 [Ω]	42 [Ω]	52 [Ω]	63 [Ω]	73 [Ω]								
		99 [A]	50 [A]	33 [A]	24 [A]	20 [A]	17 [A]	14 [A]								
5		11 [Ω]	22 [Ω]	33 [Ω]	44 [Ω]	55 [Ω]	65 [Ω]	76 [Ω]	87 [Ω]	98 [Ω]						
		146 [A]	73 [A]	49 [A]	37 [A]	30 [A]	25 [A]	22 [A]	19 [A]	17 [A]						
6		10 [Ω]	19 [Ω]	28 [Ω]	37 [Ω]	46 [Ω]	56 [Ω]	65 [Ω]	74 [Ω]	83 [Ω]	92 [Ω]	101 [Ω]				
		172 [A]	86 [A]	58 [A]	43 [A]	35 [A]	29 [A]	26 [A]	22 [A]	20 [A]	18 [A]	16 [A]				
7		9 [Ω]	17 [Ω]	25 [Ω]	33 [Ω]	41 [Ω]	49 [Ω]	57 [Ω]	65 [Ω]	73 [Ω]	81 [Ω]	89 [Ω]	113 [Ω]			
		193 [A]	97 [A]	65 [A]	49 [A]	39 [A]	33 [A]	28 [A]	25 [A]	22 [A]	20 [A]	18 [A]	15 [A]			
8		9 [Ω]	17 [Ω]	25 [Ω]	36 [Ω]	41 [Ω]	49 [Ω]	57 [Ω]	66 [Ω]	74 [Ω]	82 [Ω]					
		214 [A]	108 [A]	72 [A]	54 [A]	44 [A]	36 [A]	31 [A]	28 [A]	25 [A]	22 [A]					
9		7 [Ω]	13 [Ω]	20 [Ω]	26 [Ω]	33 [Ω]	39 [Ω]	46 [Ω]	52 [Ω]	59 [Ω]	65 [Ω]	72 [Ω]	91 [Ω]			
		261 [A]	131 [A]	88 [A]	66 [A]	53 [A]	45 [A]	38 [A]	34 [A]	30 [A]	27 [A]	25 [A]	20 [A]			
10		6 [Ω]	11 [Ω]	17 [Ω]	22 [Ω]	28 [Ω]	33 [Ω]	39 [Ω]	44 [Ω]	50 [Ω]	55 [Ω]	61 [Ω]	77 [Ω]	83 [Ω]	88 [Ω]	110 [Ω]
		310 [A]	156 [A]	104 [A]	79 [A]	63 [A]	53 [A]	46 [A]	40 [A]	36 [A]	32 [A]	30 [A]	24 [A]	22 [A]	21 [A]	17 [A]

Notas:

- L: corresponde a la longitud del contrapeso a utilizar.
- El cable o bajante de puesta a tierra (sin la chaqueta) se debe empalmar con la varilla más próxima al punto donde se entierre.
- Para resistividades superiores a 2000 Ω -m se debe emplear la configuración No 10.
- Para garantizar las condiciones de desempeño, hablando de las características del suelo y su homogeneidad, la primera varilla debe ubicarse a distancia mayor o igual a 0.5 m del poste.

Tabla 2. Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo anillo en función de la resistividad del terreno

No.	Anillos Configuración	Resistividad [Ω -m]														
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1400	1500	1600	2000
1		10 [Ω]	19 [Ω]													
		287 [A]	144 [A]													
2		9 [Ω]	18 [Ω]	26 [Ω]												
		341 [A]	171 [A]	115 [A]												
3		8 [Ω]	16 [Ω]	24 [Ω]	32 [Ω]	40 [Ω]	48 [Ω]									
		481 [A]	242 [A]	162 [A]	122 [A]	98 [A]	82 [A]									
4		8 [Ω]	15 [Ω]	22 [Ω]	29 [Ω]	36 [Ω]	44 [Ω]	51 [Ω]								
		187 [A]	94 [A]	62 [A]	47 [A]	38 [A]	32 [A]	27 [A]								
5		7 [Ω]	14 [Ω]	20 [Ω]	27 [Ω]	34 [Ω]	40 [Ω]	47 [Ω]	54 [Ω]	60 [Ω]						
		206 [A]	103 [A]	69 [A]	52 [A]	42 [A]	35 [A]	30 [A]	26 [A]	24 [A]						
6		7 [Ω]	13 [Ω]	19 [Ω]	25 [Ω]	31 [Ω]	38 [Ω]	44 [Ω]	50 [Ω]	56 [Ω]	62 [Ω]	69 [Ω]				
		260 [A]	113 [A]	76 [A]	57 [A]	46 [A]	39 [A]	33 [A]	29 [A]	26 [A]	24 [A]	21 [A]				
7		6 [Ω]	12 [Ω]	18 [Ω]	24 [Ω]	30 [Ω]	35 [Ω]	41 [Ω]	47 [Ω]	53 [Ω]	59 [Ω]	65 [Ω]	82 [Ω]			
		247 [A]	124 [A]	83 [A]	62 [A]	50 [A]	42 [A]	36 [A]	32 [A]	28 [A]	26 [A]	23 [A]	19 [A]			
8		7 [Ω]	13 [Ω]	19 [Ω]	26 [Ω]	32 [Ω]	38 [Ω]	44 [Ω]	51 [Ω]							
		198 [A]	99 [A]	66 [A]	50 [A]	40 [A]	34 [A]	30 [A]	25 [A]							
9		6 [Ω]	11 [Ω]	16 [Ω]	21 [Ω]	27 [Ω]	31 [Ω]	37 [Ω]	42 [Ω]	48 [Ω]	53 [Ω]					
		242 [A]	122 [A]	81 [A]	61 [A]	50 [A]	41 [A]	36 [A]	31 [A]	28 [A]	25 [A]					
10		5 [Ω]	10 [Ω]	14 [Ω]	19 [Ω]	24 [Ω]	28 [Ω]	33 [Ω]	37 [Ω]	42 [Ω]	47 [Ω]	51 [Ω]	65 [Ω]			
		285 [A]	143 [A]	96 [A]	72 [A]	58 [A]	50 [A]	42 [A]	37 [A]	33 [A]	30 [A]	27 [A]	22 [A]			
11		5 [Ω]	9 [Ω]	13 [Ω]	17 [Ω]	21 [Ω]	25 [Ω]	29 [Ω]	34 [Ω]	38 [Ω]	42 [Ω]	46 [Ω]	58 [Ω]	63 [Ω]	67 [Ω]	83 [Ω]
		329 [A]	166 [A]	111 [A]	84 [A]	67 [A]	56 [A]	49 [A]	43 [A]	38 [A]	34 [A]	32 [A]	25 [A]	24 [A]	22 [A]	18 [A]

Notas:

- Círculo interno R1: 0.9 m desde la base del poste.
- Círculo externo R2: 1.5 metros desde la base del poste.
- L: corresponde a la longitud del contrapeso a utilizar.
- El cable o bajante de puesta a tierra (sin la chaqueta) se debe empalmar con el círculo interno (R1) así como con la varilla más próxima al punto donde se entierre.
- Los círculos internos (R1) y externo (R2) se deben empalmar en por lo menos dos puntos (separados 180°) por medio de soldadura exotérmica. La conexión se debe realizar para evitar la concentración de potenciales en el SPT.
- Para resistividades superiores a 2000 Ω -m se debe emplear la configuración No 11.

Figura 3. Detalles de conexión en sistemas de puesta a tierra

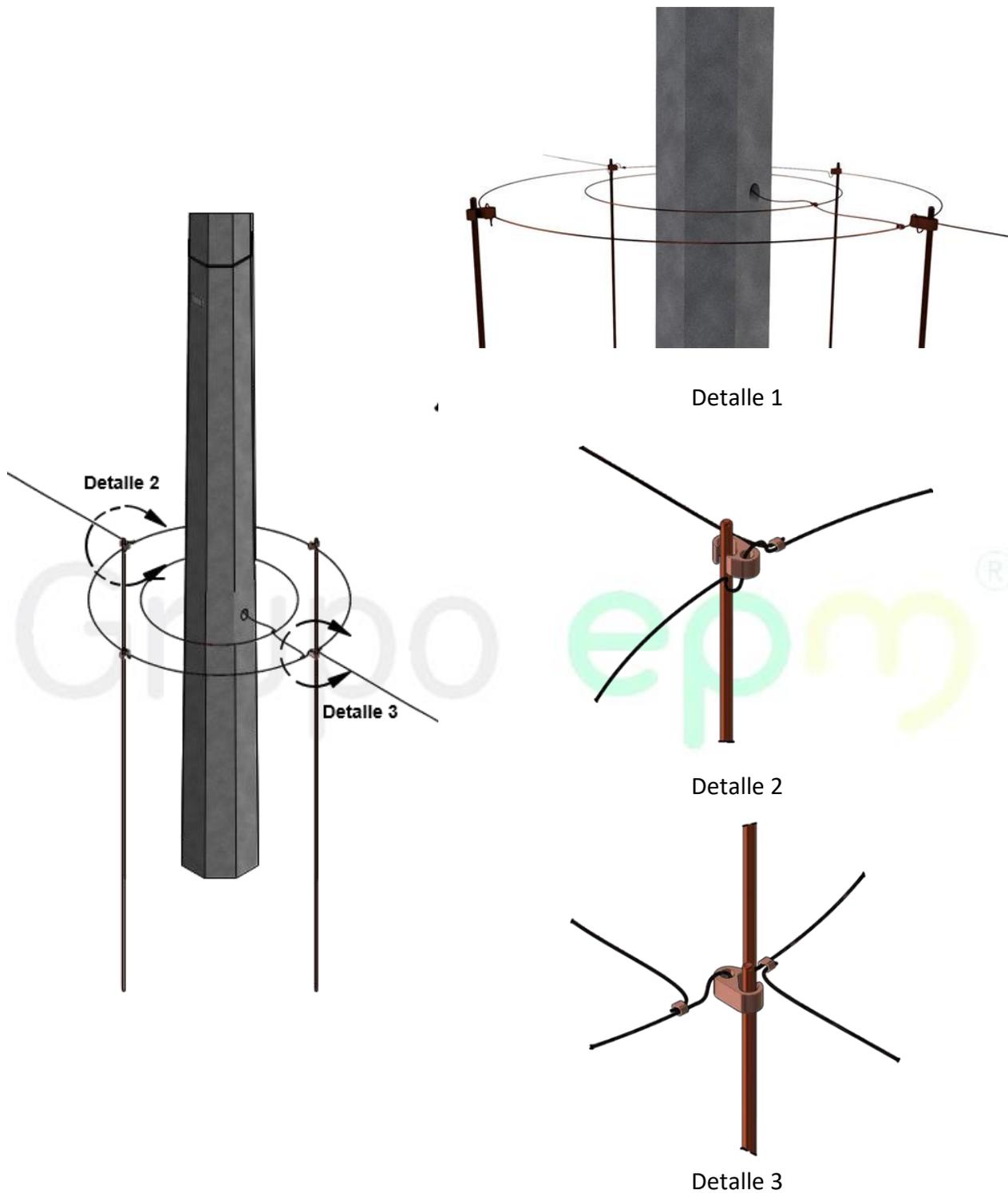
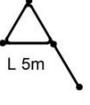
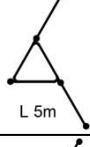
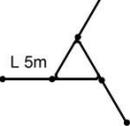


Tabla 3. Configuraciones del sistema de puesta a tierra tipo triada en función de la resistividad del terreno

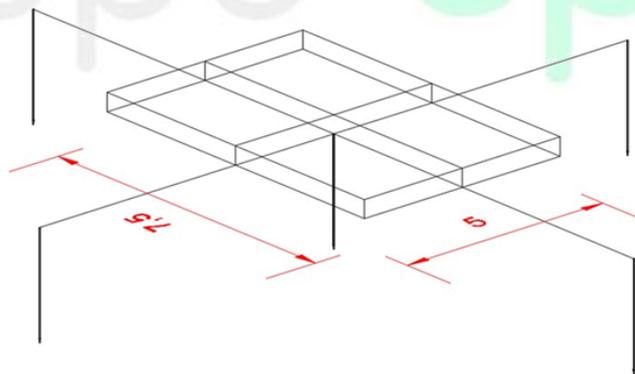
Triada		Resistividad [Ω -m]														
No.	Configuración	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1400	1500	1600	2000

1		8 [Ω]	15 [Ω]	22 [Ω]	29 [Ω]	36 [Ω]	43 [Ω]	50 [Ω]	58 [Ω]							
		38 [A]	19 [A]	129 [A]	98 [A]	78 [A]	66 [A]	57 [A]	50 [A]							
2		6 [Ω]	12 [Ω]	18 [Ω]	24 [Ω]	29 [Ω]	35 [Ω]	41 [Ω]	47 [Ω]	52 [Ω]	58 [Ω]					
		330 [A]	166 [A]	111 [A]	84 [A]	67 [A]	56 [A]	49 [A]	43 [A]	38 [A]	35 [A]					
3		5 [Ω]	10 [Ω]	15 [Ω]	20 [Ω]	25 [Ω]	30 [Ω]	35 [Ω]	40 [Ω]	45 [Ω]	50 [Ω]	54 [Ω]	69 [Ω]			
		406 [A]	204 [A]	137 [A]	103 [A]	83 [A]	70 [A]	60 [A]	53 [A]	47 [A]	43 [A]	39 [A]	31 [A]			
4		5 [Ω]	9 [Ω]	13 [Ω]	18 [Ω]	22 [Ω]	26 [Ω]	31 [Ω]	35 [Ω]	39 [Ω]	44 [Ω]	48 [Ω]	61 [Ω]	65 [Ω]	69 [Ω]	87 [Ω]
		486 [A]	244 [A]	164 [A]	124 [A]	99 [A]	83 [A]	72 [A]	63 [A]	56 [A]	51 [A]	47 [A]	37 [A]	35 [A]	33 [A]	27 [A]

Notas:

- La longitud de los lados del triángulo es de 5 m.
- L: corresponde a la longitud del contrapeso a utilizar
- Para resistividades superiores a 2000 Ω-m se debe emplear el esquema No 4.
- Las configuraciones anteriormente expuestas funcionan para corrientes de falla relativamente bajas, en el caso de que estas corrientes sean más altas se deben considerar configuraciones más robustas como la que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 4. Configuración del sistema de puesta a tierra para corrientes de falla elevadas



A continuación, se presentan las siguientes consideraciones asociadas a la Figura 4:

- La configuración propuesta corresponde a un rectángulo de 7.5 x 5 m.
- La longitud de los contrapesos es de 5 m.

El modelo presentado anteriormente se simuló para una corriente de falla de 2 kA, con un tiempo de despeje de falla de 0.12 segundos a 35 °C en un terreno con una resistividad uniforme de 45 Ω-m. El arreglo consiste en dos mallas rectangulares en una disposición de dos niveles a 0.7 m y 1.1 m de profundidad.

4.4. Notas generales

Las siguientes características aplican para todas las configuraciones del sistema de puesta a tierra referidas anteriormente:

- a. La selección del material a utilizar para el conductor que forma la malla de puesta a tierra de las diferentes configuraciones, incluido el conductor de los contrapesos, dependerá del nivel de agresividad (corrosión) del suelo en los sitios donde se instalen los apoyos. Para suelos con un valor de pH superior a 5.0 (suelos alcalinos y/o básicos) se recomienda utilizar acero galvanizado de calidad superior o acero recubierto de cobre (Cooper-clad Steel) y, en suelos con un pH menor o igual a 5.0 (suelos neutros y ácidos) se recomienda utilizar acero inoxidable o cobre - Ver *GM-04 Guía metodológica: cálculo del sistema de puesta a tierra* (EPM, 2019).
- b. Para zonas contaminadas con nivel de contaminación IV-Fuerte y V-Muy Fuerte (Ver RA8-022), los elementos de puesta a tierra deben ser de acero inoxidable o acero recubierto de cobre.
- c. Los electrodos o varillas de puesta a tierra empleados deben ser de cobre macizo o acero recubierto de cobre, acero galvanizado en caliente, o acero inoxidable (Tabla 15.2-RETIE) con diámetro de 5/8" y con una longitud de 2.40 m, cuyo uso debe estar acorde con lo indicado en el numeral 1.
- d. La resistividad de la capa superficial (cascajo) es de 2500 Ω -m.
- e. El espesor de la capa superficial es de 0.20 m.
- f. La profundidad de enterramiento después de la capa superficial es de 0.50 m.
- g. El cable o bajante de puesta a tierra (sin la chaqueta) se debe empalmar con la varilla más próxima al punto donde se entierre.
- h. El cable bajante puede ser de acero recubierto de cobre, o acero galvanizado en caliente. Para las zonas de contaminación fuerte y muy fuerte, o costeras, se recomienda utilizar cable de acero inoxidable.
- i. Debido a las composiciones de los suelos en Colombia, en sistema sin neutro y/o cable de guarda (con corrientes de falla elevadas) es probable que se requiera emplear algún método para tratar el terreno y así disminuir la resistencia de este, con el objeto de poder cumplir con las tensiones de paso y contacto tolerables. Los suelos artificiales son materiales que han producido las industrias con el fin de atender a la necesidad que hay de obtener resistencias de puesta a tierra bajas, entre ellos se encuentran los rellenos con sales o carbón, grafito, bentonita, y cemento conductor. En este escenario y en espacios reducidos, también cabe contemplar el uso de sistemas de puesta a tierra capacitivos.

5. Equipotencialización básica de las estructuras

Con el fin de garantizar la seguridad de las personas y la vida útil de todos los elementos que componen la vestida de los postes que soportan las redes de distribución de energía, en los siguientes numerales se establecen los requisitos a implementar la poner a tierra o equipotencializar los elementos que constituyen la infraestructura.

5.1. Bajante de puesta a tierra

Corresponde al conductor de la bajante del poste, o el cable que conecta a tierra el neutro del sistema, o conecta a tierra equipos, o conecta el cable de guarda para el apantallamiento contra impactos directos de descargas atmosféricas. Se debe cumplir con las exigencias para los materiales dadas en el RETIE, Tabla 16.1: Características de los terminales de captación y bajantes.

En general, en las redes de distribución del grupo EPM se utilizarán bajantes de acero galvanizado en caliente, o acero recubierto de cobre. El uso del fleje en acero austenítico en la presentación de “kit de puesta a tierra” como bajante de puesta a tierra, no está permitido en áreas urbanas, se permite en zonas rurales siempre y cuando no se superen los 4.52 kA de corriente de cortocircuito. Las características que definen el bajante se explican en la siguiente tabla:

Tabla 4. Bajante de puesta a tierra

Denominación	Cable de acero recubierto de cobre 7X12 AWG o Alambre de acero recubierto de cobre No 4 AWG	Cable de acero galvanizado 3/8''	Kit de puesta a tierra en fleje o conductor de acero austenítico *
Sección Transversal (mm ²)	21.15	71.18	26.66
Dimensiones (mm)	∅ = 5.19	∅ = 9.52	1.2 x 22.22
Conductividad (%)	40	8.5	2.4
Intensidad de corriente Máx. Admisible (kA)	10.31	8.99	4.52

* KIT de puesta a tierra: conjunto de elementos para la conexión al sistema de puesta a tierra compuesto básicamente por el fleje en acero inoxidable, y los conectores mecánicos para el fleje y el electrodo o varilla.

Los conductores con sección transversal inferior a 50 mm² solo deben ser utilizados para la conexión de puesta a tierra de equipos y puesta a tierra del conductor de neutro, en todo caso el calibre mínimo debe ser 4 AWG, equivalente a 21.15 mm². Para el conductor de bajante del cable de guarda la sección transversal mínima será 50 mm², lo que es equivalente a un calibre 1/0 AWG o 3/8'' cuando el conductor sea de acero galvanizado.

Quando se utilice cable como bajante de puesta tierra en las redes aéreas del Grupo EPM, este debe ser instalado en el interior de los postes, con las excepciones contempladas en el numeral 5.5 de la presente norma.

En las zonas rurales, cuando se utilice el fleje de acero austenítico, este se instalará externo al poste asegurado con cinta de acero inoxidable.

En aquellos puntos en donde coincida la instalación de un equipo con la ubicación del bajante de puesta a tierra, asociado al cable de guarda, será suficiente con la instalación del bajante de cable de guarda.

5.2. Cable de guarda

El cable de guarda, en montajes con bayoneta, debe ser de acero recubierto de aluminio 7x8 AWG, estar unido a las estructuras con los herrajes apropiados y estar puestos a tierra cada tres estructuras y en las estructuras terminales. En caso de que el cable de guarda haga las veces también de neutro del sistema de distribución, se podrá utilizar este en ACSR (GA o AWAC). Para el caso de red semiaislada (compacta), lo mismo que para el tendido aéreo de la red aislada, se podrá utilizar el conductor mensajero en ACSR/AWAC. Las diferentes configuraciones que puede adoptar el guarda y su material pueden observarse en la Tabla 5. En zonas costeras o de alta contaminación las características del conductor deben estar de acuerdo con el numeral 6.1 de la norma RA6-022.

Tabla 5. Cable de guarda

Tipo de configuración	Nivel de tension [kV]	Cable de acero recubierto de aluminio	Cable ACSR/GA	Cable ACSR/AWAC (4/3)
Solo Guarda (en bayoneta)	34.5 - 44	7 N° 8 AWG	-	-
	13.2	7 N° 8 AWG	-	-
Guarda y Neutro corrido	34.5 - 44	-	ver (*)	-
	13.2	-		-
Guarda y Mensajero (red compacta)	34.5	7 N° 8 AWG	-	2/0 AWG
	13.2	7 N° 8 AWG	-	1/0 AWG, 2/0 AWG **
Guarda, Mensajero y neutro corrido (red compacta)	34.5		-	2/0 AWG
	13.2		-	1/0 AWG, 2/0 AWG **

Notas:

*Como cable neutro se utilizará 2 ACSR (GA o AWAC) para conductores de fase de calibre 2 AWG; 1/0 ACSR (GA o AWAC) para conductores de fase de calibre hasta 2/0 AWG, y para calibres de cables de fase superiores a 2/0 AWG se utilizará cable neutro de 2/0 ACSR (GA o AWAC).

**Como cable mensajero y neutro se utilizará 1/0 ACSR/AWAC (4/3) para los conductores de fase de calibre hasta 2/0 AWG. Para calibres superiores se utilizará el cable ACSR 2/0 (4/3) AW.

5.3. Crucetas metálicas

Por considerarse un elemento de difícil acceso a las personas, además de ser una práctica constructiva y operativa constante - Ver NESC. 215C, las crucetas metálicas no requieren ser equipotencializadas en los postes que soportan las redes de distribución de energía (IEEE, 2017).

5.4. Retenidas

Los cables de la retenida no requieren ser efectivamente aterrizados cuando se insertan en esta uno o más aisladores tipo tensor debidamente especificados. En este caso, los aisladores deben ser posicionados de manera que se limite la probabilidad de que cualquier parte del templete se energice dentro de 2.45 m (8 ft) sobre el nivel del suelo en caso de que el templete se afloje –Ver NESC. 215C (IEEE, 2017).

5.5. Postes

En postes de conductivos (concreto y metálicos), para evitar diferencias de potencial entre el refuerzo metálico y el cable de bajante de puesta a tierra, se debe realizar una conexión firme entre estos elementos mediante un conector. Si el bajante de puesta a tierra es un alambre o conductor circular de cobre, acero recubierto de cobre o acero galvanizado, el conector debe ser pernado de ranura simple tipo GB de cobre o cobre estañado para los casos en los que el bajante sea de acero o acero galvanizado. Mientras que, si el bajante tiene una sección rectangular como corresponde al fleje de acero, el conector debe ser tipo J; la Figura 6 ilustra el perno hembra y el conector de puesta a tierra para la conexión con el cable de puesta a tierra (bajante).

5.5.1. Poste de concreto

De acuerdo con el RETIE, se les debe instalar una puesta a tierra a todos los postes o estructuras de concreto, excepto los destinados a baja tensión. Para este propósito, la estructura metálica interna o refuerzo de acero del poste de concreto pretensionado o postensionado, por diseño, debe estar firmemente unida y amarrada por medio de soldadura, además, cada poste debe tener la adecuación de puesta a tierra (perno de rosca hembra) colocada en la parte inferior del poste de concreto (ver

Figura 5 y Figura 6).

Figura 5. Adecuación de puesta a tierra para poste de concreto

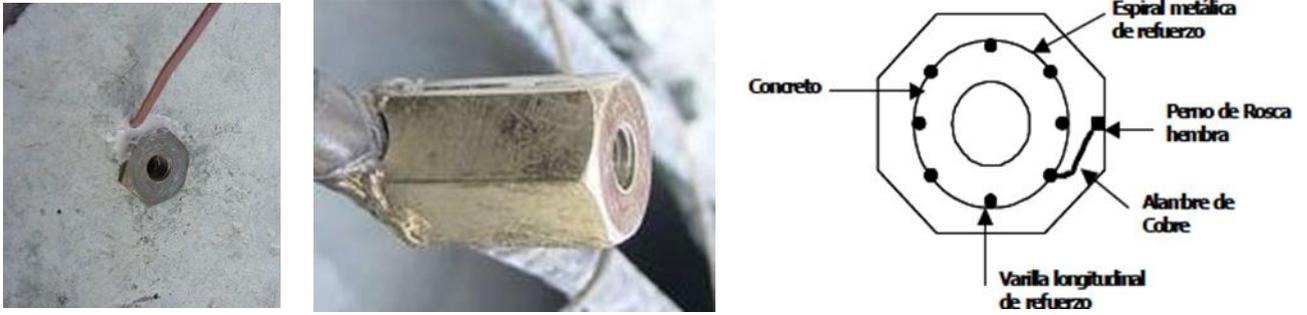


Figura 6. Pernos y conectores de puesta a tierra para postes



El cable de bajante de puesta a tierra debe ingresarse por el agujero C1 y salir por el agujero C2 para conectarse a la configuración de puesta a tierra. En caso de no existir bajante, la conexión de puesta a tierra se efectuará en la parte inferior del poste (ver Figura 7).

5.5.2. Poste metálico

De acuerdo con el RETIE, se debe instalar una puesta a tierra a los postes o estructuras metálicas, excepto los destinados a baja tensión. Para evitar diferencias de potencial entre la estructura metálica y el cable de bajante de puesta a tierra, se debe realizar una conexión firme entre estos elementos a través de los pernos de rosca hembra de conexión que tiene soldado el poste para tal fin.

El cable bajante se conectará al perno rosca hembra en la parte superior; luego el cuerpo metálico del poste se utilizará para generar un camino continuo para drenar las corrientes de falla, o de descarga atmosférica, y finalmente, el perno con rosca de la parte inferior deberá conectarse al electrodo de puesta a tierra. En caso de no existir cable de guarda, la conexión de puesta a tierra se efectuará solamente en la parte inferior del poste.

5.5.3. Poste de poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV)

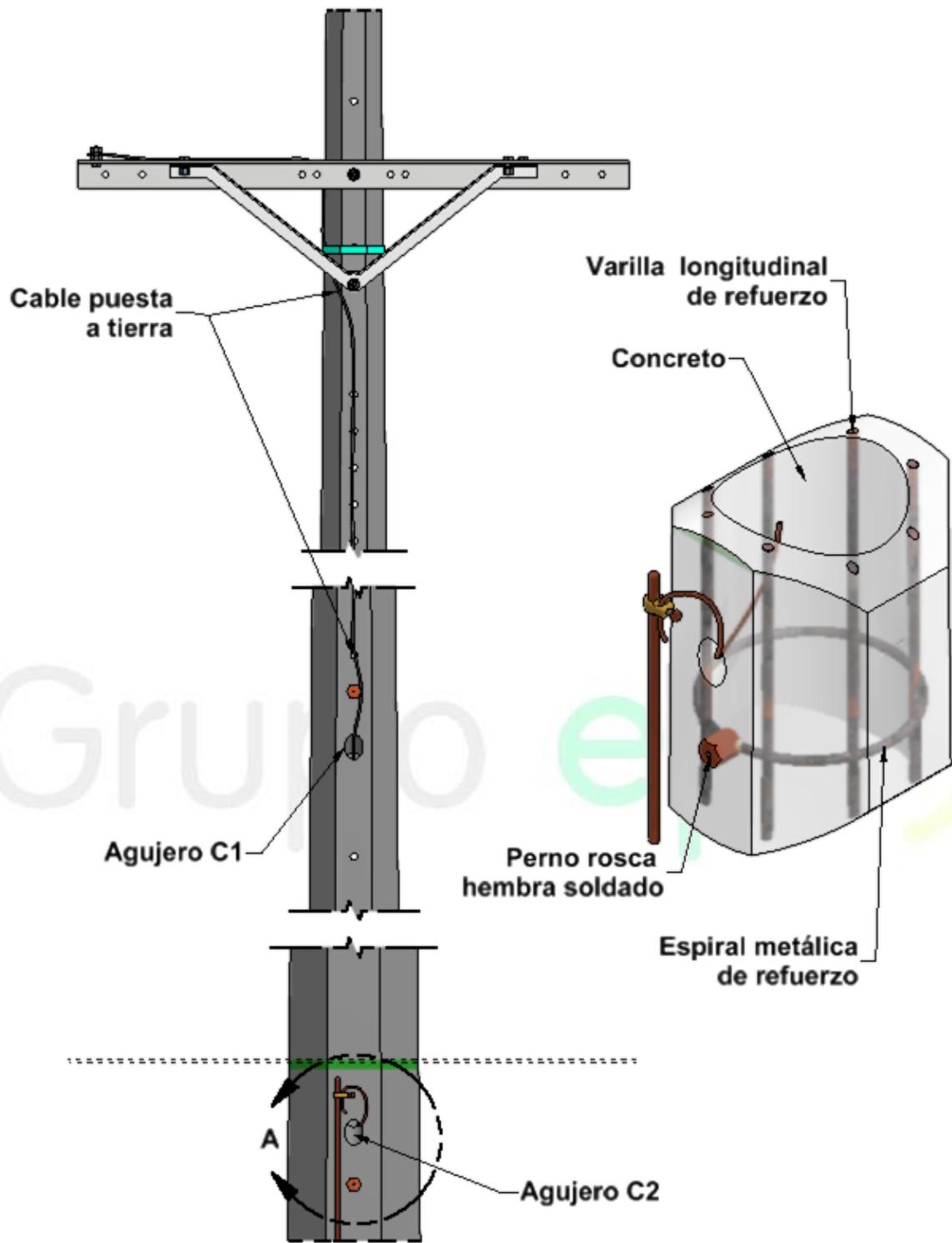
Este tipo de poste está fabricado en un material no conductor, por lo tanto, no se requiere equipotencializar la estructura. Cuando se requiera la instalación del cable de bajante de puesta a tierra, este debe ingresarse por el agujero C1 en la parte superior, y salir por el agujero C2 en la parte inferior del poste, para conectarse al electrodo según la configuración de puesta a tierra, como se ilustra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

6. Red aislada y semiaislada

En caso de que la red de distribución de media tensión sea del tipo semiaislada (compacta) con cable mensajero, la estructura, si es el caso, y el cable mensajero, deben conectarse mediante un bajante de puesta a tierra cada tres (3) estructuras y en los postes terminales de línea; además, donde aparezcan elementos de corte, conexión y/o transformación.

En caso de que la red de distribución de media tensión sea del tipo red aislada, la conexión de la estructura, si es el caso, el cable mensajero, y la pantalla metálica del cable, deben conectarse a un bajante de puesta a tierra en los puntos de transición de red aislada a desnuda y viceversa, y donde además aparezcan elementos de corte, conexión y/o transformación.

Figura 7. *Bajante de puesta a tierra, acceso agujero C1 y salida agujero C2*



7. Referencias

Las resoluciones, los reglamentos nacionales, las normas y guías técnicas nacionales e internacionales y demás documentos relacionados deben ser considerados en su última versión, a menos que se indique una versión diferente.

En caso de discrepancia entre las normas técnicas y este documento, prevalecerá lo aquí establecido. Así mismo, de presentarse alguna discrepancia entre los requisitos de una norma nacional y su norma internacional de referencia o equivalente, primará lo establecido en la norma de versión más actualizada.

Eléctricos Internacional LTDA. (2022). *Innovate Grounding Clamping Systems made of Austenitic Stainless Steel 304*. Obtenido de <https://www.electricosinter.com/catalogos/Innovative-Grounding-Clamping-Systems-made-of-Austenitic-Stainless-Steel-304.pdf>

EPM. (2019). *Guía Metodológica: Cálculo del sistema de puesta a tierra*.

IEEE. (2017). *National Electric Safety Code (NESC) Handbook*.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, Resolución 90708 de 2013*. Bogotá.

