

CONTENIDO

	Página
1. OBJETIVO.....	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS.....	1
3. DEFINICIONES.....	2
4. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA).....	3
4.1 CLASES DE SIPRA.....	3
4.2 DISEÑO DEL SIPRA.....	4
5. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO.....	4
5.1 ASPECTOS GENERALES.....	4
5.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	5
5.3 SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES.....	13
5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	16
5.5 MATERIALES, DIMENSIONES Y CONEXIONES.....	19
6. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO.....	23
6.1 GENERAL.....	23
6.2 UNIONES EQUIPOTENCIALES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS.....	24
6.3 AISLAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	26
7. MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE UN SIPRA.....	27
7.1 OBJETIVO.....	27

	Página
7.2 ORDEN DE LAS INSPECCIONES .....	28
7.3 MANTENIMIENTO.....	28
8. MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LESIONES A SERES VIVOS DEBIDO A TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO .....	28
8.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA TENSIONES DE CONTACTO Y PASO. ....	28
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO A</b>	
<b>CIRCULACIÓN DE CORRIENTE DE RAYO EN PARTES CONDUCTORAS EXTERNAS Y ACOMETIDAS DE SERVICIO CONECTADAS A LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO B (Normativo)</b>	
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL MÍNIMA DE LA PANTALLA DEL CABLE DE ENTRADA PARA EVITAR CHISPAS PELIGROSAS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO C (Informativo)</b>	
<b>DIVISIÓN DE LA CORRIENTE DE LA DESCARGA ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA A TRAVÉS DE LAS BAJANTES .....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO D (Informativo)</b>	
<b>INFORMACION ADICIONAL PARA SIPRA EN EL CASO DE ESTRUCTURAS CON RIESGO DE EXPLOSION.....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO E (Informativo)</b>	
<b>GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS .....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURAS</b>	
Figura 1. Utilización del método de la esfera rodante.....	7
Figura 2. Área de Protección mediante el método de la esfera rodante .....	8
Figura 3. Ángulo de protección dependiendo de la altura relativa y el nivel de protección .....	9
Figura 4. Ejemplo de protección mediante el método de la esfera con un nivel de protección III. ....	9
Figura 5. Curvatura de conductores (Tomado de NFPA-780) .....	14

	Página
Figura 6. Longitud mínima $l_1$ de cada electrodo de acuerdo a la clase del nivel de protección.....	17
Figura C.1 Valores del coeficiente $k_c$ en el caso de un cable de sistema de captación con una puesta a tierra Tipo B.....	35
Figura C.2 Valores del coeficiente $k_c$ en el caso de un sistema de terminales aéreos reticulado y un sistema de terminación a tierra Tipo B.....	35
Figura C.3 Ejemplo del cálculo de la distancia de separación en el caso de un sistema de captación enmallado, un anillo interconectando los bajantes a cada nivel y una puesta a tierra Tipo B.....	36
Figura E.1 Diagrama de flujo del SIPRA.....	44
Figura E.2 Valores del coeficiente $k_c$ en caso de techos inclinados con terminales de captación en el lomo y un sistema de puesta a tierra Tipo B.....	53
Figura E.3 Diseño del SIPRA para una estructura con una parte en forma de canto ....	54
Figura E.4 Conexión equipotencial en una estructura con acero con refuerzo de acero.....	56
Figura E.5 Uniones de soldadura de varillas de refuerzo de concreto reforzado (si es permitido).....	57
Figura E.6 Ejemplo de sujeción usado como unión entre varilla de refuerzo y los conductores.....	58
Figura E.7. ejemplos para puntos de conexión al refuerzo en una pared de concreto reforzado I.....	59
Figura E.7- ejemplos para puntos de conexión al refuerzo en una pared de concreto reforzado I.....	59
Figure E.8a Uso de fachadas con cubierta metálica como sistema de bajantes naturales en una estructura de refuerzo de acero en concreto.....	62
Figura E.8b Conexión de soportes de fachada.....	63
Figura E.9 Conexión de tira continua de ventanas a fachada de cubierta metálica.....	64
Figura E.10 Conductor bajante interno – conductores en estructura de una industria.....	67

	Página
Figura E.11 Instalación de conductores de unión en estructura de concreto reforzado con unión flexible entre dos partes de concreto reforzado .....	69
Figura E.12 Método del ángulo de protección diseño de terminales de captación aérea para diferentes alturas de acuerdo a la Tabla 2 .....	73
Figura E.13. SIPRA aislado externo usando dos mástiles de captación área aislado diseñado de acuerdo al método del ángulo de protección .....	74
Figura E.14 SIPRA externo aislado usando dos mástiles de terminales aéreos aislados interconectados por alambres horizontales con catenaria.....	75
Figura E.15 Ejemplo del diseño de terminales aéreas de un SIPRA no aislado mediante varillas.....	76
Figura E.16 – Ejemplo del diseño de una terminal aérea de un SIPRA no aislado por medio de un alambre horizontal de acuerdo al método del ángulo de protección para terminales aéreas.....	77
Figura E.17. Volumen protegido por una varilla Terminal o un mástil sobre una superficie inclinada.....	78
Figura E.18. Diseño de un Terminal aéreo de un SIPRA de acuerdo con el método de la esfera rodante, el método de ángulo de protección, el método de la malla y el arreglo general de los elementos de terminales aéreas .....	80
Figura E.19. Diseño de una red de conductores de terminales aérea de un SIPRA sobre una estructura con forma complicada.....	81
Figura E.20. Espacio protegido por dos alambres horizontales paralelos de terminales aéreas o dos varillas terminales áreas ( $r > ht$ ).....	82
Figura E.21. Puntos en los cuales el rayo impactará el edificio .....	83
Figura E.22. Ejemplo de diseño de terminales aéreas para un SIPRA no aislado de acuerdo con el método de la malla para terminales aéreas .....	86
Figura E.23. Algunos ejemplos de los detalles de un SIPRA sobre una estructura con techo de tejas inclinado .....	89
Figura E.24. Construcción de un SIPRA que usa componentes naturales sobre estrecho de la estructura .....	91

	Página
Figura E.25. Posicionamiento de un SIPRA externo sobre una estructura hecha de material aislante (madera o ladrillo) con altura hasta de 60m, techo plano y con accesorios en techo.....	92
Figura E.26. Construcción de una red de terminales aéreas sobre el techo con recubrimiento conductivo donde la perforación por rayo no es aceptable .....	93
Figura E.27. Construcción de un SIPRA externo sobre una estructura de concreto reforzada con acero usando el refuerzo de las paredes externas como componentes naturales.....	94
Figura E.28. Ejemplo de un montículo de terminación aérea usado sobre los techos de los parqueaderos.....	95
Figura E.29. Varilla de terminal aérea usada como protección de un arreglo de techo metálico con instalaciones de suministro eléctrico que no están conectadas al sistema de terminación aéreas .....	96
Figura E.30. Método para lograr la continuidad eléctrica sobre recubrimiento metálico de los parapetos.....	97
Figura E.31 Accesorios de techo metálicos protegidos contra interceptación directa de rayos, conexión al sistema de terminales a aéreas. ....	100
Figura E.32. Ejemplo de construcción de la protección contra rayos de una casa con antena de T.V usando mastil como varilla de terminal aérea .....	101
Figura E.33. Instalación de la protección contra rayos de impactos directos en un equipo metálico ubicado sobre el techo .....	102
Figura E.34. Conexión de varillas de captación naturales al conductor de captación	104
Figura E.35. Construcción de un puenteo entre los segmentos de platinas metálicas de una fachada .....	105
Figura E.36. Instalación de SIPRA externo sobre estructuras con material aislantes con diferentes niveles de techo .....	107
Figura E.37. Ejemplos de la geometría de los conductores del SIPRA.....	108
Figura E.38. Construcción de un SIPRA usando solo dos bajantes y electrodos de tierra en la fundación .....	109
Figura E.39. Ejemplos de conexión de terminales de tierra al SIPRA de la estructura usando componentes naturales (vigas) y detalles de puntos de prueba...	113

	Página
Figura E.40. Construcción del anillo de puesta a tierra para estructuras de diferente diseño de fundación.....	117
Figura E.41. Ejemplos de dos electrodos verticales en un arreglo Tipo A.....	119
Figura E.42. Sistema de enmallado de puesta a tierra de una planta.....	121
Figura E.43. Ejemplos de distancias de separación entre el SIPRA y las instalaciones metálicas .....	127
Figura E.44 Recomendaciones para calcular la distancia de separación $s$ para el caso más crítico.....	128
Figura E.45. Ejemplo de un arreglo de unión equipotencial .....	131
Figura E.46. Ejemplo de un arreglo equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de partes conductoras externas usando un electrodo tipo anillo para conectar a los barrajes equipotenciales.....	133
Figura E.47. Ejemplo de equipotencialidad en el caso de múltiples puntos de entrada de partes conductoras externas, líneas de energía o de comunicaciones que usan un anillo interno conductor para la interconexión de los barrajes equipotenciales....	134
Figura E.48. Ejemplo de un arreglo equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de partes externas conductoras entrando por encima del nivel de tierra.....	135
 <b>TABLAS</b>	
Tabla 1. Relación entre las clases de SIPRA y los niveles de protección contra rayos ..3	
Tabla 2: valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección..7	
Tabla 3. Dimensiones del enmallado para los diferentes niveles de protección .....	10
Tabla 4. Mínimo espesor para cobertizos metálicos o tuberías metálicas en sistemas de captación aérea .....	11
Tabla 5. Material, Configuración y Mínima área de la sección transversal para cables o varillas de terminales aéreos y bajantes.....	12
Tabla 6. Distancia de separación promedio para las bajantes de acuerdo con el nivel de protección .....	14

	Página
Tabla 7. LPS materiales y condiciones de uso .....	20
Tabla 8. Material, configuración y mínima área de la sección transversal para cables o varillas de terminales aéreos y bajantes .....	21
Tabla 9. Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de tierra.....	22
Tabla 10. Valores del coeficiente $k_1$ (véase el numeral 6.3) para Aislamiento Externo.	27
Tabla 11. Valores del coeficiente $k_c$ (véase el numeral 6.3) para Aislamiento Externo.	27
Tabla 12. Valores del coeficiente $k_m$ .....	27
Tabla A.1. Valores Convencionales de impedancia de puesta a tierra $Z$ y $Z_1$ en función de la resistividad del suelo .....	31
Tabla B.1. Longitud del cable que debe ser considerada de acuerdo a la disposición de la pantalla.....	33
Tabla C.1. Valores del coeficiente $k_c$ .....	34
Tabla E.1. Centro de aseguramiento sugerido .....	88
Tabla E.2 Máximo período entre inspecciones de un SIPRA .....	137

## **INTRODUCCION**

Esta parte de la NTC 4552 esta relacionada con la protección, dentro y fuera de la estructura contra el daño y lesiones a los seres vivientes debido a tensiones de toque y de paso.

La medida de protección más efectiva para las estructuras contra los daños físicos es el sistema de protección contra rayos denominado SIPRA, el cual usualmente consiste tanto en una protección externa como una protección interna.

Una protección externa esta diseñada para:

- a) Interceptar los impactos directos de rayo a la estructura (usando el sistema de captación)
- b) Conducir la corriente del rayo de manera segura hacia la tierra (usando un sistema de bajantes)
- c) Dispersar la corriente de rayo dentro de la tierra (usando un sistema de puesta a tierra)

Una protección interna contra rayos previene de chispas peligrosas dentro de la estructura usando tanto equipotencialización como distancias de separación entre los componentes del SIPRA y otros elementos conductores eléctricos internos a la estructura.

Las medidas de protección principales en contra de lesiones a seres vivientes debido a tensiones de paso y de contacto son realizadas para:

- 1) Reducir las corrientes peligrosas que puedan fluir por el cuerpo aislando las partes de conductoras expuestas y/o incrementando la resistividad de la superficie del suelo.
- 2) Reducir la ocurrencia de tensiones de paso y/o de contacto peligrosas mediante el uso de restricciones físicas y/o avisos de peligro.

El tipo y ubicación del SIPRA debe considerarse cuidadosamente en el diseño inicial de una estructura nueva, por lo tanto lograr la máxima ventaja posible de las partes eléctricas conductoras de la estructura. De esta manera se hace más fácil realizar mantener los aspectos estéticos y la efectividad del sistema de protección con un esfuerzo mínimo.

Realizando el procedimiento anteriormente mencionado es posible tener un acceso fácil al sistema de tierra usando adecuadamente los cimientos para formar un sistema de puesta a tierra más efectivo.

Es prioritario que exista una relación muy estrecha entre los diseñadores del SIPRA, los arquitectos y los constructores de la edificación de tal manera que el SIPRA este completamente integrado a la edificación sin afectar considerablemente su aspecto y sus características de construcción.

Si el sistema de protección se debe adicionar a una estructura existente se debe llevar a cabo todos los esfuerzos necesarios para asegurar que estos cumplen con los principios de esta norma. El diseño y ubicación del SIPRA deben tener en cuenta las características de la estructura existente.

**PROTECCIÓN CONTRA RAYOS.  
PARTE 3: DAÑOS FÍSICOS A ESTRUCTURAS Y AMENAZAS A LA VIDA**

**1. OBJETIVO**

Esta parte del compendio de la NTC4552 presenta los requisitos para proteger una estructura contra daños físicos por medio de un sistema de protección contra rayos (SIPRA), y para la protección contra lesiones a seres vivos debido a tensiones de paso y de contacto en las proximidades del SIPRA (véase la NTC 4552-1)

Esta norma se aplica a:

- a) Diseño, instalación, inspección y mantenimiento de un SIPRA para estructuras nuevas o ya existentes sin limitación en su altura
- b) Establecimiento de medidas de protección contra lesiones a seres vivos debidas a tensiones de paso y de contacto.

1 Esta parte de la norma no está intencionada para proveer protección contra fallas en sistemas eléctricos y electrónicos debidas a sobretensiones. Requisitos específicos para este tipo de casos se presentan en la Parte 4 del compendio de la NTC 4552.

**2. REFERENCIAS NORMATIVAS**

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de este documento.

IEC 60079-10:2002, *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Part 10: Classification of Hazardous Areas*

IEC 60079-14:2002, *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres – Part 14: Electrical Installations in Hazardous Areas (Other than Mines)*

IEC 61241-10:2004, *Electrical Apparatus for Use in the Presence of Combustible Dust – Part 10: Classification of Areas where Combustible Dusts are or May be Present*

IEC 61241-14:2004, *Electrical Apparatus for Use in the Presence of Combustible Dust – Part 14: Selection and Installation*

IEC 61643-12:2002, *Low-voltage Surge Protective Devices – Part 12: Surge Protective Devices Connected to Low Voltage Power Distribution Systems – Selection and Application Principles*.

NTC 4552 -1, Protección contra rayos. Parte 1: Principios Generales

NTC 4552-2, Protección contra rayos. Parte 2: Riesgo

NTC 4552-4, Protección contra rayos. Parte 4: Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de estructuras

### 3. DEFINICIONES

**3.1 Cables colgantes.** Cables tendidos entre dos puntos que cubren parte de la estructura y forman parte del sistema de captación.

**3.2 Chispa peligrosa.** Disrupción eléctrica producida por un rayo que puede causar daños físicos a la estructura que se va a proteger

**3.3 Conductor equipotencial.** Conductor que conecta partes conductoras al SIPRA

**3.4 Descarga nube tierra (*Lightning flash to Earth*).** Rayo de origen atmosférico entre nube y tierra que consiste en una o más descargas (*Strokes*).

**3.5 Dispositivo de protección contra sobretensiones DPS (*Surge protective device SPD*).** Dispositivo que limita intencionalmente las sobretensiones transitorias y dispersa las sobrecorrientes transitorias. Contiene por lo menos un componente no lineal.

**3.6 Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias del tipo conmutación de tensión.** Un DPS que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta de un transitorio de tensión. Ejemplos de estos dispositivos son: Las vías de chispa, tubos de gas, entre otros.

**3.7 Distancia de separación.** Distancia entre dos partes conductoras en la cual no puede existir una chispa peligrosa

**3.8 Impulso electromagnético del rayo IER (*Lightning Electromagnetic Impulse LEMP*).** Campo electromagnético generado por la corriente del rayo, capaz de generar interferencia electromagnética

**3.9 Nivel de protección contra rayo NPR.** Número relacionado con un conjunto de los parámetros de la corriente de rayo, pertinentes a la probabilidad que asocia los valores de diseño máximo y mínimo, son valores que no serán excedidos cuando naturalmente ocurra una descarga.

<sup>2</sup> El nivel de protección contra rayos es usado en el diseño de medidas de protección de acuerdo con el conjunto de parámetros de la corriente de rayo.

**3.10 Partes externas conductoras (*External Conductive Parts*).** Extensiones de partes metálicas que ingresan o salen de la estructura a proteger, por ejemplo tuberías, cables metálicos, ductos metálicos, entre otros, que pueden llevar corrientes parciales

**3.11 Sistema eléctrico.** Para esta norma es un sistema que incorpora alimentación y elementos de baja tensión así como componentes electrónicos.

**3.12 Sistema de protección contra IER (LPMS).** Conjunto de medidas de protección contra IER para sistemas internos.

**3.13 Sistema de captación (*Air Terminal System*).** Parte de un SIPRA, compuesto de elementos metálicos tales como bayonetas o pararrayos tipo Franklin, conductores de acoplamiento o catenarias que interceptan intencionalmente el rayo.

**3.14 Sistema interno de protección contra rayos (*Internal Lightning Protection System*).** Parte de un SIPRA que consiste en una conexión equipotencial de rayo y acorde con la distancia de separación dentro de la estructura protegida.

**3.15 Sistema electrónico.** Para esta norma es un sistema compuesto de componentes electrónicos sensibles tales como equipos de comunicación, computadores, sistemas de control e instrumentación, sistemas de radio, instalaciones electrónicas de potencia.

**3.16 Sistema Interno.** Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de una estructura.

**3.17 Sistema de conductores bajantes (*Down Conductors System*).** Parte de un SIPRA que conduce intencionalmente la corriente del rayo desde el sistema de captación al sistema de puesta a tierra.

**3.18 Sistema de protección contra sobretensiones (*Surge Protection Devices System*).** Sistema coordinado de DPS's seleccionados e instalados correctamente para reducir fallas de sistemas eléctricos y electrónicos.

**3.19 Sistema de puesta a tierra (*Earth Termination System*).** Parte de un SIPRA que conduce y dispersa intencionalmente la corriente de rayo en tierra.

**3.20 Sistema externo de protección contra rayo (*External Lightning Protection System*).** Parte del SIPRA que consiste en un sistema de puntas de captación (pararrayos tipo Franklin), un sistema de conductor bajante y un sistema de puesta a tierra.

#### 4. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (SIPRA)

##### 4.1 CLASES DE SIPRA

Las características de un SIPRA están determinadas por las características de la estructura a ser protegida y por el nivel de protección contra rayos considerado.

Cuatro clases de SIPRA (I al IV) son definidos para esta norma los cuales corresponden a los niveles de protección definidos en la NTC4552-1

Tabla 12. Relación entre las clases de SIPRA y los niveles de protección contra rayos

Nivel de Protección Contra Rayos	Clase del SIPRA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Cada clase del SIPRA está caracterizado por:

- a) Datos que dependen de la clase del SIPRA
- Los parámetros del rayo (véase la Tablas 5 y 6 en la NTC 4552-1);
  - Radio de la esfera rodante, tamaño de la malla y ángulo de protección (véase el numeral 5.2);
  - Distancias típicas entre bajantes y entre anillos conductores (véase el numeral 5.3.2);
  - Distancia de separación contra chispas peligrosas (véase el numeral 6.3);
  - Longitud mínima de los electrodos de tierra (véase el numeral 5.4.2).
- b) Datos que no dependen de la clase del SIPRA
- Unión del equipotencial del rayo (véase el numeral 6.2);
  - Espesores mínimos para las láminas metálicas o tuberías metálicas en el sistema de captación (véase el numeral 5.2.4);
  - Materiales para el SIPRA y condiciones de uso (véase el numeral 5.5);
  - Materiales, configuración y dimensiones mínimas para el sistema de captación, las bajantes y el sistema de puesta a tierra. (Véase el numeral 5.5);

La clase del SIPRA requerido debe obtenerse a basado en la valoración de riesgo de acuerdo con la NTC4552-2.

## **4.2 DISEÑO DEL SIPRA**

Un diseño del SIPRA óptimo tanto técnico como económico es posible especialmente si los pasos en el diseño y la construcción de éste son coordinados con el diseño y la construcción de la estructura a proteger. En particular, el diseño de la estructura en si misma debe utilizar las partes metálicas de la estructura como partes del SIPRA.

En el diseño de la clase y ubicación del SIPRA para estructuras existentes deben tenerse en cuenta las restricciones de la situación existente.

La documentación del diseño de un SIPRA deberá contener toda la información necesaria para asegurar una completa y correcta instalación. Para información más detallada, véase el Anexo D.

## **5. SISTEMA DE PROTECCIÓN EXTERNO**

### **5.1 ASPECTOS GENERALES**

#### **5.1.1 Objetivo**

La protección externa en una edificación tiene como objetivo interceptar los impactos directos de rayo que se dirijan a la estructura, incluyendo aquellos que impacten al costado de ésta, para conducir de manera segura la corriente de rayo desde el punto de impacto a tierra.

El sistema de protección externo también tiene como función dispersar dicha corriente a tierra sin causar daños térmicos o mecánicos ni chispas peligrosas que puedan dar inicio a incendios o explosiones.

La protección externa se compone por tres partes fundamentales: el sistema de captación, los conductores bajantes y el sistema de puesta a tierra.

### **5.1.2 Tipos de protección externa**

Existen dos tipos de sistemas de protección externa, uno aislado eléctricamente de la estructura y otro unido directamente a la misma. La decisión de qué tipo de sistema a utilizar depende del riesgo de efectos térmicos o explosivos en el punto de impacto de rayo y del tipo de elementos almacenados en la estructura. Algunos ejemplos típicos para usar una protección aislada son en estructuras con paredes combustibles y en áreas con peligro de explosión.

Chispas peligrosa debe evitarse en cualquiera de los sistemas de protección externa, para ello es necesario seguir las recomendaciones de equipotencialización del numeral 6.2 para sistemas de protección externa no aislados y las recomendaciones de aislamiento en un sistema mostradas en el numeral 6.3 para sistemas aislados.

### **5.1.3 Componentes**

El sistema de protección externo está compuesto por tres elementos principales:

- Sistema de captación encargado de realizar la interceptación del impacto del rayo.
- Sistema de conductores bajantes, encargado de conducir de manera adecuada y segura la corriente rayo al sistema de puesta a tierra.
- Sistema de puesta a tierra, encargado de dispersar adecuadamente en el terreno la corriente de rayo.

## **5.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN**

El sistema de captación es el encargado de interceptar los rayos que vayan a impactar directamente a la estructura y enviar la corriente de rayo por las bajantes de la edificación.

La probabilidad de que una estructura sea penetrada por una corriente de rayo decrece considerablemente por la presencia de un sistema de terminales aéreos diseñado adecuadamente.

El sistema de captación puede ser compuesto por cualquier combinación de los siguientes elementos:

- Varillas Tipo *Franklin* (incluyendo mástiles autoportados)
- Cables colgantes
- Mallas de conductores

NOTA 3    Los sistemas de captación no convencionales tales como *Early Streamer Emission* o *Cebado*, *Charge Transfer System*, *Dissipation Array System* deben ser considerados como puntas Franklin en el diseño del sistema de protección externo<sup>1 2 3 4</sup>

Para cumplir con esta normatividad todos los tipos de sistemas de captación aéreos deben estar ubicados de acuerdo con los numerales 5.2.1, 5.2.2

### **5.2.1 Ubicación**

Las componentes de captación aéreas instaladas en una estructura se deben localizar en las esquinas, puntos expuestos sobresalientes de la estructura y en los bordes. Se debe tener en cuenta que los dispositivos de interceptación de rayos deben ser varillas metálicas sólidas o tubulares en forma de bayonetas (véase la Tabla 5); con una altura por encima de las partes altas de la estructura, no menor a 25 cm.

Deben estar posicionados de acuerdo con uno o más de los siguientes métodos:

El método de ángulo de protección, el método de la esfera rodante y el método de enmallado, tal como se describen a continuación.

Para la utilización de los métodos de diseño se debe considerar lo siguiente:

- El método de esfera rodante es aplicable para estructuras con altura menor a 60m
- El método de al ángulo de protección es útil para edificaciones con formas simples pero está limitado a la altura de los mismos y el tamaño del terminal aéreo.
- El método de enmallado es útil para proteger superficies planas como techos y terrazas.

Los valores para el ángulo de protección, el radio de la esfera rodante y el tamaño de la malla está dado para cada tipo de SIPRA en la Figura 3 y Tablas 2 y 3.

#### **5.2.1.1 Método de la esfera rodante**

Dependiendo del nivel de protección de acuerdo con la NTC4552-1 el radio de la esfera rodante se puede escoger a partir de la Tabla 2

<sup>1</sup> Uman, m., Rakov, V. "A critical Review on Nonconvetional Approaches to Lightning Protection" American Meteorological Society. pp. 1809-1820. 2002.

<sup>2</sup> Mousa, A. "Validity of the Lightning Elimination Claim" Personal communication. 2003.

<sup>3</sup> Hartono, Z. "A Long Term Study on the Performance of Early Streamer Emission Air Terminals in a High Keraunic Region" APACE 2003. Malaysia. 2003.

<sup>4</sup> Cooray, V., Theethayi, N. "The Striking Distance Of Lightning Flashes and the Early Streamer Emission (ESE) hypothesis" 27th International Conference on Lightning Protection – ICLP. Avignon, France. 2004.

Tabla 13. Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección

Nivel de Protección	Radio de la Esfera ( $r_{sc}$ )
	[m]
Nivel I	35
Nivel II	40
Nivel III	50
Nivel IV	55

NOTA 4 El diseñador es libre de usar cualquier radio de la esfera, siempre y cuando éstos sean inferiores a los mostrados en la Tabla 2

NOTA 5 El procedimiento de obtención de estos radios está descrito en el Anexo A de NTC 4552-1

Estos niveles y corrientes están dados para que con el radio escogido cualquier corriente igual o superior a la escogida sea interceptada por el sistema de protección externo y no impacte directamente a la estructura.

El posicionamiento de las puntas captadoras debe realizarse de manera tal que la esfera escogida por el nivel de protección nunca toque ninguna parte de la estructura, de este modo la esfera siempre estará soportada por algún elemento del sistema de captación.

En la práctica, para determinar gráficamente la altura mínima de la instalación de interceptación, se trazan arcos de circunferencia con radio igual a la distancia de impacto  $r_{sc}$ , entre los objetos a ser protegidos y los terminales de captación, de tal forma que los arcos sean tangentes a la tierra y a los objetos o tangentes entre objetos; cualquier estructura por debajo de los arcos estará protegida por el o los objetos que conformen el arco, y cualquier objeto que sea tocado por el arco estará expuesto a descargas directas.

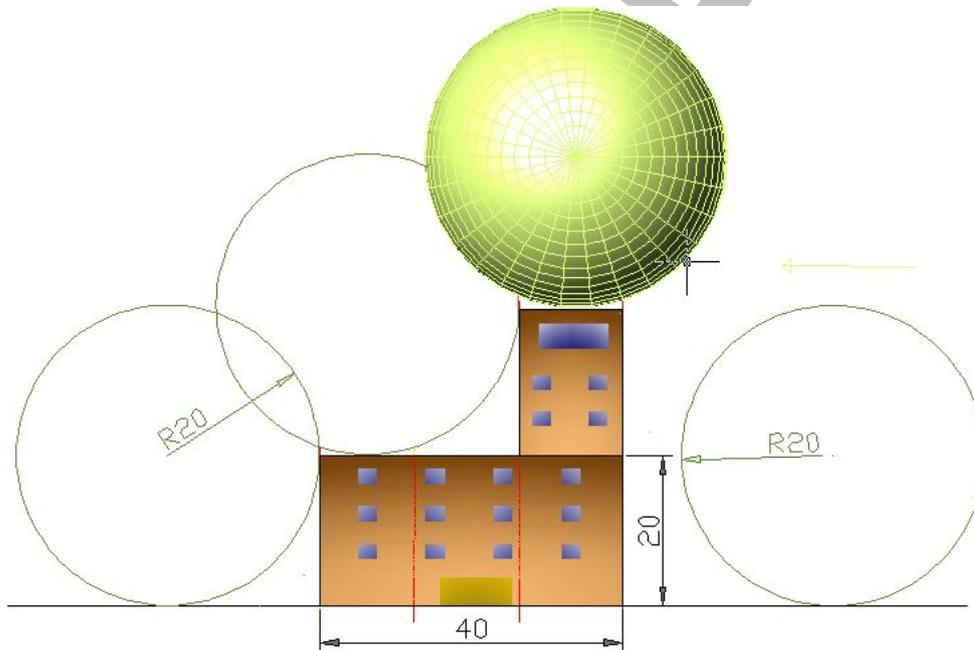


Figura1. Utilización del método de la esfera rodante

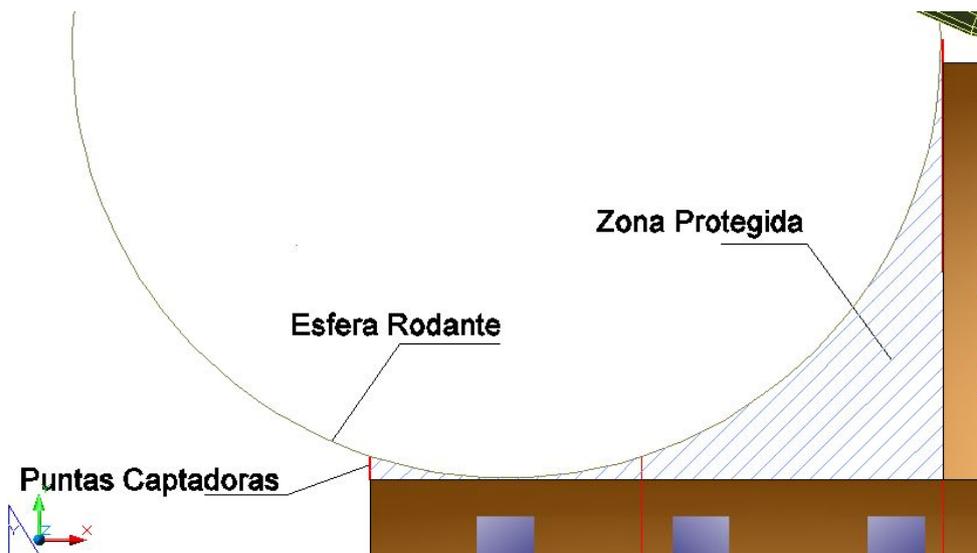


Figura 2. Área de Protección mediante el método de la esfera rodante

En estructuras más altas que el radio de la esfera rodante, pueden existir rayos que impacten los costados de éstas. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un punto factible de ser impactado. Sin embargo, la probabilidad que rayos impacten los costados es prácticamente despreciable para estructuras menores a 60 m.

#### 5.2.1.2 Método del ángulo de protección

El método del ángulo de protección es una simplificación del método de la esfera rodante, en donde para una altura relativa dada existe un ángulo de protección de la punta captadora o cable aéreo de protección el cual puede determinarse mediante la Figura 7.

Se considera que la ubicación del sistema de captación es adecuado si la estructura completa a ser protegida está dentro del volumen protección.

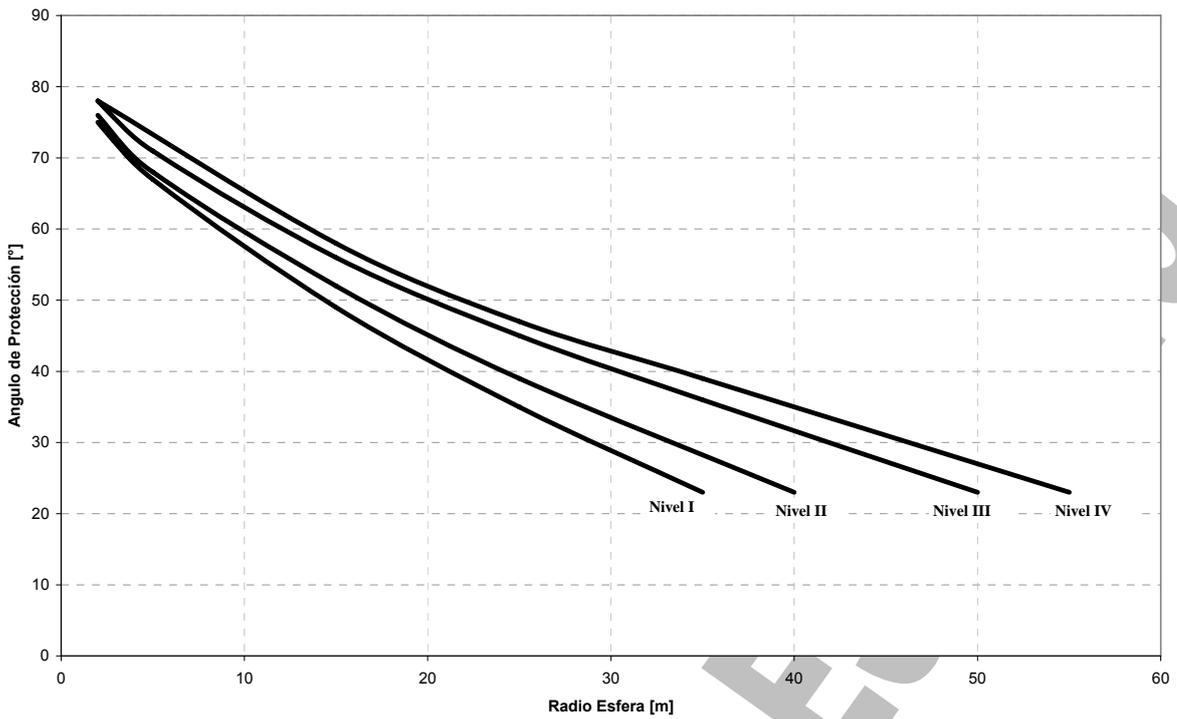


Figura 7. Ángulo de protección dependiendo de la altura relativa y el nivel de protección

La altura se escoge a partir de la altura relativa que tiene el elemento con la superficie a proteger como se muestra en la Figura 8 y a partir de ahí se colocan las puntas captadoras de tal manera que la estructura quede siempre dentro de la zona de protección de la punta.

NOTA 6 El diseñador es libre de usar cualquier ángulo de protección, siempre y cuando para una altura dada los ángulos sean inferiores las curvas mostradas en la Figura 3.

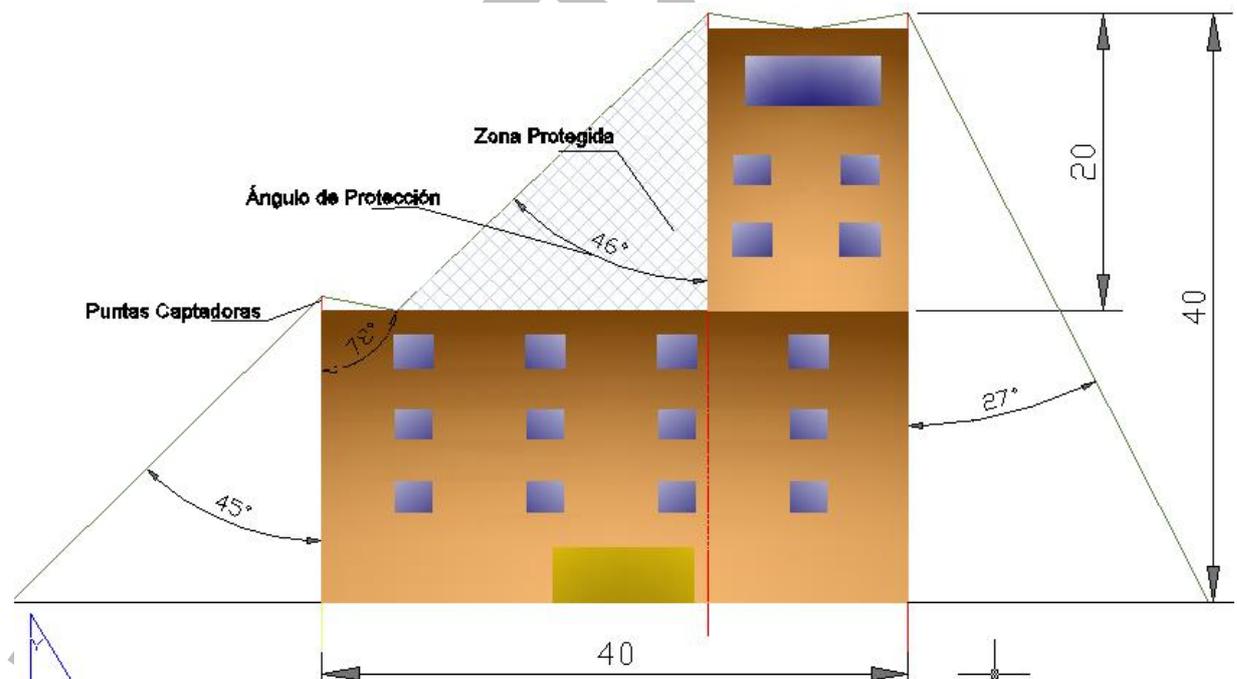


Figura 8. Ejemplo de protección mediante el método de la esfera con un nivel de protección III.

### 5.2.1.3 Método del enmallado

Este método es utilizado principalmente cuando es necesario proteger superficies planas, en donde una malla conductora puede ser considerada para obtener la protección contra impactos directos de toda la estructura. Para este caso los conductores externos son colocadas sobre bordes de techos, terrazas y voladizos.

La red enmallada debe ser diseñada de tal manera que la corriente de rayo siempre encuentre al menos 2 vías de evacuación de la corriente.

Los valores de enmallado dependiendo del nivel de protección están dados por la siguiente tabla.

Tabla 14. Dimensiones del enmallado para los diferentes niveles de protección

Nivel de Protección	Malla [m]
Nivel I	5x5
Nivel II	10x10
Nivel III	15x15
Nivel IV	20x20

### 5.2.2 Terminales aéreos contra impactos al costado de la estructura

Para estructuras mayores a 55m es probable que impacten rayos por el costado especialmente en puntos como esquinas y ángulos.

NOTA 7 En general la probabilidad de que un rayo impacte en el costado es baja con relación a los rayos que impactan en la parte superior para estructuras inferiores a 55 m. Adicionalmente los parámetros de los rayos que impactan en un costado son significativamente menores que los que impactan en la parte superior. Sin embargo rayos con estas características pueden dañar equipos electrónicos que estén sobre la pared fuera de la estructura.

Un sistema de captación debe ser instalado para proteger la estructura y los equipos instalados en su parte superior (por ejemplo el 20 % de la parte más alta de la estructura). Las reglas para el posicionamiento de los terminales aéreos en el techo, deben incluso aplicar para la parte superior de la estructura. Adicionalmente, todas las partes con riesgo de daño que se encuentren ubicadas por encima de 110 m en estructuras de altura superior a esta cota, deben ser protegidas.

### 5.2.3 Construcción

Los terminales aéreos no aislados usados para proteger una estructura pueden ser instalados como sigue:

- Si el techo está hecho de materiales no combustibles los elementos del sistema de captación pueden ser instalados sobre la superficie del techo.
- Si el techo está hecho de material de fácil combustión, es necesario considerar cierta precaución con respecto a la distancia entre los elementos conductores del sistema de captación y el techo. Para techos cubiertos de paja donde no tiene estructuras de acero se considera adecuada una distancia no menor a 0,15 m. Para otros materiales combustibles se debe considerar una distancia no inferior a 0,10 m.

- Las partes fácilmente combustibles de la estructuras no deben permanecer en contacto directo con ninguna parte de los componentes del sistema de protección externo y no debe estar debajo de ninguna lámina metálica que pueda ser perforada por un rayo (véase el numeral 5.2.4). También se debe tener cuidado con láminas menos combustibles como las de madera.

NOTA 8 Si es probable alguna acumulación de agua en un techo plano, las componentes del sistema de captación deben ser instaladas por encima del nivel máximo de agua a ser acumulada.

**5.2.4 Componentes naturales**

Las siguientes partes de la estructura podrían ser consideradas como parte natural del sistema de captación:

- a) Cobertizos metálicos que cumplan las siguientes condiciones:
  - La continuidad eléctrica entre sus partes sea garantizada y durable (ejemplo: soldadura, grapas o abrazaderas metálicas, atornilladas, etc)
  - Su espesor sea suficiente para soportar el impacto directo de acuerdo con la Tabla 4.
  - No esté revestido por un material aislante

**Tabla 15. Mínimo espesor para cobertizos metálicos o tuberías metálicas en sistemas de captación aérea**

Clase de LPS	Material	Grosor <sup>a</sup> (t) (mm)	Grosor <sup>b</sup> (t) (mm)
I a IV	Plomo	-	2,0
	Acero (inoxidable galvanizado)	4	0,5
	Titanio	4	0,5
	Cobre	5	0,5
	Aluminio	7	0,65
	Zinc	-	0,7
<sup>a</sup> t	previene perforaciones, puntos calientes o ignición.		
<sup>b</sup> t	sólo para láminas metálicas si no es importante prevenir perforaciones, puntos calientes o ignición.		

- b) Componentes Metálicos del material del techo (acero reforzando interconectado) debajo de superficie no metálica
- c) Partes metálicas tales como ornamentación, rieles, tuberías metálicas, etc., con secciones transversales no menores a las especificadas para los componentes del sistema de captación.
- d) Tuberías metálicas y tanques sobre el techo que tengan un espesor de acuerdo a la Tabla 5.

Tabla 16. Material, Configuración y Mínima área de la sección transversal para cables o varillas de terminales aéreos y bajantes

Material	Configuración	Mínima área cuadrada <sup>8)</sup> (mm <sup>2</sup> )	Comentarios
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm min. de grosor
	Alambre <sup>7)</sup>	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Alambre <sup>3),4)</sup>	200	16 mm de diámetro
Cobre recubierto de plata 1)	Cinta sólida	50	2 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
Aluminio	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Cinta sólida	70	3 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
Aleación de aluminio	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Cinta sólida	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Alambre <sup>3)</sup>	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente 2)	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Cinta sólida	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Alambre <sup>3),4)</sup>	200	16 mm de diámetro
Acero inoxidable <sup>5)</sup>	Trenzado	70	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Cinta sólida <sup>5)</sup>	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre <sup>5)</sup>	50	8 mm de diámetro
	Alambre <sup>3),4)</sup>	200	16 mm de diámetro

- 1) Recubrimiento en caliente o galvanizado, grosor mínimo de la capa de 1 µm.
- 2) El recubrimiento debería ser liso, continuo y libre de impurezas, grosor mínimo de la capa de 50 µm.
- 3) Aplicable sólo para varillas tipo franklin. Para aplicaciones donde la tensión mecánica como la carga del viento no son determinantes, un de diámetro 10 mm, una varilla tipo franklin de 1 m de longitud máxima con una fijación adicional se puede usar.
- 4) Aplicable sólo a varillas de tierra con alma de plomo.
- 5) Cromo ≥ 16 %, níquel ≥ 8 %, carbón ≤ 0,07 %.
- 6) Para acero inoxidable incrustado en concreto, y/o en contacto directo con material inflamable, los tamaños mínimos deberían ser aumentados a 78 mm<sup>2</sup> (10 mm de diámetro) para alambre y 75 mm<sup>2</sup> (grosor mínimo de 3 mm) para cinta sólida.
- 7) 50 mm<sup>2</sup> (8 mm de diámetro) se puede reducir a 28 mm<sup>2</sup> (6 mm de diámetro) en ciertos usos donde la fuerza mecánica no es un requisito esencial. Se debería considerar, en este caso, reducir el espacio entre los aseguradores.
- 8) Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60 mm<sup>2</sup> para cinta sólida y a 78 mm<sup>2</sup> para alambre.
- 9) La sección transversal mínima para evitar que se derrita es 16 mm<sup>2</sup> (cobre), 25 mm<sup>2</sup> (aluminio), 50 mm<sup>2</sup> (acero) y 50 mm<sup>2</sup> (acero inoxidable) para una energía específica de 10 000 kJ/Ω. Información adicional véase el Anexo D.
- 10) El grosor, el ancho y el diámetro son definidos en ±10 %.

- e) Tuberías metálicas y tanques que transportan elementos combustibles o mezclas explosivas, siempre y cuando estén construidas con materiales de espesores no menores a los valores de  $t$  apropiados dados en la Tabla 3 y que el incremento de temperatura de la superficie interna en el punto de impacto no constituya peligro de explosión. (véase el Anexo C)

### **5.3 SISTEMA DE CONDUCTORES BAJANTES**

Con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo, las bajantes deben ser ubicadas de manera tal que a partir del punto de impacto del rayo hasta tierra se cumplan los siguientes requisitos

- a) Existencia de varios caminos paralelos para la corriente
- b) La longitud de los caminos de corriente sea mínima
- c) La equipotencialización a partes conductoras de la estructura esté hecha de acuerdo con los requisitos del numeral 6.2.

NOTA 9 Es considerada como una buena práctica de construcción realizar conexiones laterales de las bajantes cada 10 m o 20 m de altura de acuerdo con la Tabla 6.

La geometría de las bajantes y los anillos conductores afectan la distancia de separación (véase el numeral 6.3)

NOTA 10 Se deben instalar tantas bajantes como sea posible igualmente espaciadas alrededor del perímetro interconectado por el anillo conductor, lo cual reduce la probabilidad de chispas peligrosas y facilita la protección interna (véase la NTC 4552-4). Esta condición es cumplida en estructuras con marcos metálicos y estructuras de concreto reforzado en el cual el acero interconectado es eléctricamente continuo. En la Tabla 6 están dadas las distancias típicas de separación entre las bajantes y los anillos horizontales.

#### **5.3.1 Ubicación para sistemas aislados**

- a) Si el sistema de captación consiste en varillas montadas en postes o mástiles no metálicos o de material sin refuerzo en acero interconectado, es necesario al menos una bajante por cada poste. Si los postes son metálicos o con material con acero interconectado no es necesario el uso de bajantes.
- b) Si el sistema de captación consiste en cables colgantes, es necesario al menos una bajante en cada soporte de los cables.
- c) Si el sistema de captación consiste en una red de conductores, es necesario al menos una bajante en cada soporte de terminal.

#### **5.3.2 Ubicación para sistemas no aislados**

Para cada sistema de protección externo el número de bajantes no debe ser inferior a 2 y debe estar distribuido por el perímetro de la estructura a proteger, sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas.

Las bajantes deben distribuirse simétricamente alrededor de la estructura a proteger, ubicadas en la parte exterior de ésta y distanciadas entre sí de acuerdo a la Tabla 6 con el fin de reducir la probabilidad de daño debido a corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo. Su separación puede variar dependiendo de objetos que puedan interferir con su recorrido, como ventanas, puertas, rejillas etc. Pero es recomendable una separación igual entre las bajantes. Además cada estructura debe poseer por lo menos dos bajantes y se debe instalar una en cada esquina de la estructura expuesta siempre que sea posible.

Tabla 17. Distancia de separación promedio para las bajantes de acuerdo con el nivel de protección

Tipo de Nivel de Protección	Distancia Típica Promedio [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

### 5.3.3 Construcción

La longitud de las bajantes debe ser la menor posible, evitando la formación de lazos o curvaturas en su trayectoria y en el caso que éstas últimas sean inevitables, su ángulo interior no debe ser menor a 90° y su radio de curvatura no menor a 200 mm.

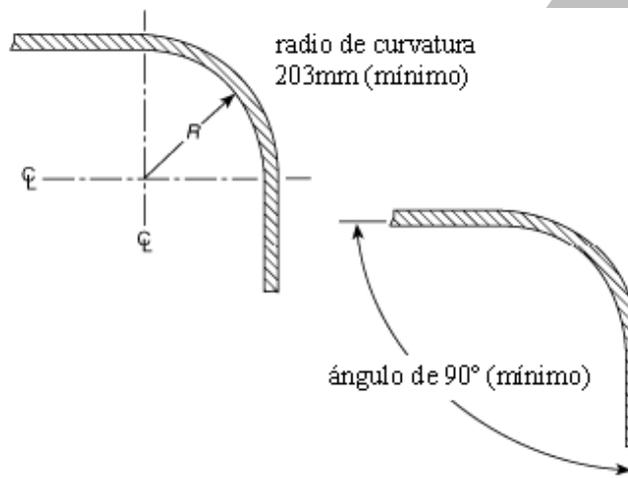


Figura 9. Curvatura de conductores (Tomado de NFPA-780)

No es recomendable ubicar bajantes en áreas donde se congreguen o transiten personas frecuentemente como es el caso de escaleras y vías operacionales, ni se permite ubicar las bajantes en los ductos de ascensores o conductos internos a la edificación.

Es recomendable que exista una bajante en cada esquina expuesta de la estructura.

Las bajantes deben ser instaladas de tal manera que garanticen continuidad eléctrica entre los conductores del sistema de captación.

Las bajantes no deberán ser instaladas dentro de canaletas para aguas aún si éstas están cubiertas con material aislante.

NOTA 11 Los efectos de la humedad en las canaletas para aguas producen gran corrosión en los conductores de las bajantes. Es recomendable que las bajantes se ubiquen de manera tal que una permita tener una distancia adecuada entre puertas y escaleras metálicas de acuerdo con el numeral 6.3

Los conductores bajantes de un sistema de protección externo no aislado de la estructura a proteger pueden ser instalados siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Las bajantes pueden ser ubicadas sobre la superficie de las paredes si éstas están hechas de material no combustible.

- Si la pared es de material fácilmente combustible las bajantes pueden ser ubicadas sobre la superficie de la pared si se logra garantizar que el incremento de temperatura en las bajantes por el paso de corriente de rayo no sea peligrosa para el material de la pared.
- Si la pared es de material fácilmente combustible y el incremento de temperatura en los conductores de las bajantes es peligroso, los conductores deben ser instalados de manera tal que la distancia entre la pared y estos sea de al menos 0,1 m. Cuando esta distancia no se pueda obtener, es indispensable que la sección transversal del conductor no sea menor a 100 mm<sup>2</sup>.

#### **5.3.4 Componentes naturales**

Las siguientes partes de la estructura pueden ser consideradas como conductores bajantes naturales:

a) Instalaciones metálicas garantizando que:

- La continuidad eléctrica entre sus parte sea durable (ejemplo: soldadura, grapas o abrazaderas metálicas, atornilladas, etc)
- Sus especificaciones sean al menos iguales a la Tabla 5.

Tuberías que lleven mezclas fácilmente combustibles o explosivas no deben ser consideradas como bajantes naturales si contienen juntas o uniones no equipotencializadas apropiadamente. El metal del concreto reforzado en el cual se garantice una unión sólida entre todas las interconexiones y que se pueda garantizar que los esfuerzos mecánicos que se ejerzan por las corrientes de rayo no provoquen ruptura del concreto. (véase el numeral 5.5.5)

NOTA 12 Con concreto reforzado prefabricado es importante establecer puntos de interconexión entre los elementos reforzadores. Es, también, importante que el concreto reforzado contenga una conexión conductora entre los puntos de interconexión. Las partes conductoras deben ser conectadas durante el armado.

NOTA 13 En el caso de concreto pre-prensado, se debe tener en cuenta en el riesgo en consecuencias mecánicas inaceptables, debido a corrientes de rayo o conexiones hechas al sistema de protección contra rayos.

b) Los marcos metálicos de la estructura

c) Los elementos de fachada, de perfiles o rieles metálicos garantizando que:

- Sus dimensiones cumplan con los requisitos para los conductores bajantes y que para laminas metálicas o tuberías metálicas su espesor no sea inferior a 0,5 mm
- Su continuidad eléctrica en dirección vertical cumpla con los requisitos del numeral 5.5.2

#### **5.3.5 Uniones de prueba**

Se debe instalar una unión de prueba en las conexiones de los terminales a tierra de cada bajante, excepto para bajantes naturales combinadas con los electrodos de tierra de los cimientos.

Las uniones deben ser capaces de desconectarse y conectarse fácilmente para propósitos de medición. En uso normal deberán permanecer cerradas.

#### **5.4 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

El sistema de puesta a tierra es usado para dispersar la corriente de rayo que viene por las bajantes reduciendo al mismo tiempo el peligro de tener tensiones de paso y de contacto peligrosas. La forma de la puesta a tierra y sus dimensiones son un criterio importante en su diseño. En términos generales para el sistema de protección externo se debe buscar un bajo valor de resistencia de puesta a tierra (si es posible valores menores a  $10 \Omega$  a baja frecuencia).

Para los sistemas de puesta a tierra de la protección contra rayos es recomendable que éstos estén integrados con todos los demás sistemas de puesta a tierra (comunicaciones, potencia, protección externa) por medio de uniones que garanticen la equipotencialidad en todas las condiciones de operación.

NOTA 14 Las condiciones de separación de los sistemas de puesta a tierra pueden estar reglamentadas por la autoridad Nacional

NOTA 15 Es posible que ocurran graves problemas de corrosión cuando se conectan diferentes sistemas de puesta a tierra hechos de materiales diferentes

Los sistemas de puesta a tierra deberán estar unidos eléctricamente de acuerdo a los requisitos del numeral 6.2

##### **5.4.1 Arreglos de sistemas de puesta a tierra**

Para los sistemas de puesta a tierra, aplican dos tipos básicos de configuración

###### **5.4.1.1 Configuración Tipo A**

Este tipo de configuración incluye electrodos verticales u horizontales instalados fuera de la estructura a ser protegida conectados a cada bajante.

En la configuración Tipo A, el número total de electrodos no debe ser inferior a 2.

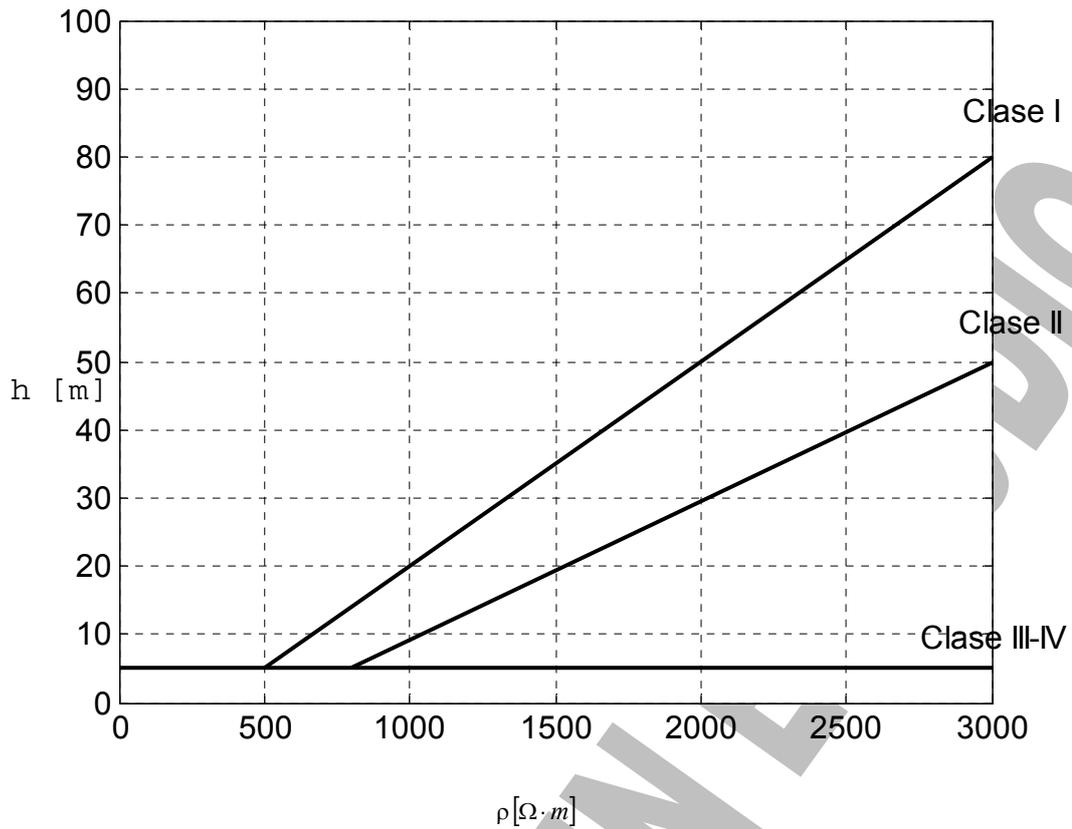


Figura 10. Longitud mínima  $h_1$  de cada electrodo de acuerdo a la clase del nivel de protección

La longitud mínima de cada electrodo de tierra en la base de cada bajante es

- $h_1$  para electrodos horizontales, o
- $0,5 h_1$  para electrodos verticales o inclinados

Donde  $h_1$  es la longitud mínima para electrodos horizontales de acuerdo a la Figura 10.

Para combinación de electrodos (horizontales y verticales), la longitud total deberá ser considerada.

Las longitudes mínimas mostradas en la Figura 10 pueden ser omitidas si se logra obtener una resistencia de puesta a tierra menor a  $10 \Omega$  (medido a una frecuencia diferente a la de frecuencia industrial y sus múltiplos con el fin de evitar interferencias).

NOTA 16 Se pueden lograr reducciones de la impedancia de la puesta a tierra por medio de extensión de los electrodos hasta de 60 m.

NOTA 17 Para mayor información, referirse al Anexo D.

#### 5.4.1.2 Configuración Tipo B

Este tipo de configuración puede estar conformado por un anillo conductor externo a la estructura y en contacto con el suelo en por lo menos un 80 % de su longitud total; o por los electrodos a tierra de la cimentación, los cuales deben estar enmallados.

Para un anillo de tierra (o un electrodo de tierra del cimiento), el radio medio  $r_e$  del área encerrada por el anillo de tierra no deberá ser inferior al valor de  $l_1$ :

$$r_e \geq l_1 \quad (1)$$

en donde  $l_1$  es el valor representado en la Figura 7 para todos los niveles de protección I, II, III y IV

Cuando el valor de  $r_e$  es menor que el valor requerido que  $l_1$ , es necesario adicionar electrodos horizontales o verticales con longitudes  $l_r$  (horizontal) y  $l_v$  (vertical) dadas por las siguientes ecuaciones:

$$l_r = l_1 - r_e \quad (2)$$

$$l_v = (l_1 - r_e) / 2 \quad (3)$$

Es recomendado que el número de electrodos adicionales no sea menor al número de bajantes, con un mínimo de 2.

Los electrodos adicionales deben ser conectados al anillo de tierra en los puntos en donde las bajantes son conectados a éste y en lo posible deben ser equidistantes.

#### 5.4.2 Instalación de electrodos

El anillo de tierra (configuración Tipo B) debe estar enterrado preferiblemente a una profundidad de 0,5 m y estar a una distancia de aproximadamente 1 m de las paredes externas.

Los electrodos de tierra (Configuración Tipo A) deberán ser instalados a una profundidad de al menos 0,5 m en su parte superior y distribuidos uniformemente para poder minimizar efectos de acople eléctrico en la tierra.

Los electrodos de tierra deben instalarse de manera tal que se pueda realizar una inspección durante su construcción.

La instalación de los electrodos de tierra debe hacerse de manera tal que se minimicen los efectos de corrosión, sequedad y congelamiento del suelo para así estabilizar la resistencia convencional de puesta a tierra.

Es recomendable que la profundidad a la que está la parte superior de un electrodo vertical igual a la profundidad de congelamiento del suelo no debería ser tomada en cuenta como efectiva en condiciones de congelamiento.

NOTA 18 Por lo tanto, para cualquier electrodo vertical, 0,5 m deben ser adicionados al valor de longitud efectiva  $l$ , calculado por 5.4.1.1 y 5.4.1.2

Para suelos de roca descubierta es recomendada únicamente la configuración Tipo B.

Para estructuras con grandes sistemas electrónicos o con alto riesgo de incendio, es preferible el uso de la configuración Tipo B

#### 5.4.2 Electrodo naturales

El acero que está dentro del concreto reforzado interconectado en los cimientos de acuerdo con el numeral 5.5.5, u otra estructura metálica adecuada, puede ser usada preferiblemente como un electrodo de tierra. En este caso, debe tenerse mucho cuidado al realizarse las interconexiones para prevenir cuarteamiento en el concreto.

NOTA 19 En caso de concreto pre-fundido, se debe considerar si las consecuencias del paso de corriente de rayo a través de éste es aceptable o no

NOTA 20 Si es usado un electrodo de tierra del cimientado es probable que a largo plazo la resistencia de puesta a tierra aumente.

NOTA 21 Información más detallada sobre este tema es mostrada en el Anexo D.

## **5.5 MATERIALES, DIMENSIONES Y CONEXIONES**

Las componentes del SIPRA deben soportar los efectos electromagnéticos producidos por las corrientes de rayo y esfuerzos accidentales predecibles sin ser dañados.

Los materiales de los componentes del SIPRA deben ser hechos a partir de los materiales mostrados en la Tabla 5 o de otros materiales con características mecánicas, eléctricas y químicas (corrosión) equivalentes.

NOTA 22 Componentes hechas de materiales diferentes a los metálicos deben ser usados para fijación

### **5.5.1 Materiales**

Los materiales y sus dimensiones deben ser escogidos teniendo en cuenta la posibilidad de corrosión tanto de la estructura a ser protegida como del SIPRA.

### **5.5.2 Fijación**

Los materiales de los captadores aéreos y las bajantes deben ser firmemente fijados de tal manera que fuerzas mecánicas accidentales (por ejemplo vibraciones, expansión térmica, etc.) no causen el rompimiento de los conductores o su pérdida (véase el Anexo D NTC 4552-1)

### **5.5.3 Conexiones**

El número de conexiones a lo largo de los conductores debe mantenerse al mínimo. Las conexiones deben hacerse de manera segura por medio de abrazaderas, soldaduras, agarraderas, tornillos, etc.

Conexiones fabricadas de acero dentro del concreto reforzado deben cumplir con el numeral 5.5.5.

### **5.5.4 Dimensiones**

En la Tabla 8 aparecen las configuraciones y áreas transversales mínimas de los conductores de captación aérea, varillas tipo Franklin y bajantes.

Configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de puesta a tierra están dadas en la Tabla 9.

**Tabla 18. LPS materiales y condiciones de uso**

Material	Uso			Corrosión		
	Al aire libre	Enterrado	En concreto	Resistencia	Acelerada por	Destruida por acople galvánico con:
Cobre	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado Como cubierta	Sólido Trenzado Como cubierta	Bueno en muchos ambientes	Componentes sulfúricos  Materiales orgánicos	-
Acero galvanizado en caliente	Sólido Trenzado	Sólido	Sólido Trenzado	Aceptable en Aire, en concreto y en suelos benignos	Altas concentraciones de cloruro	Cobre
Acero Inoxidable	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Sólido Trenzado	Bueno en muchos ambientes	Altas concentraciones de Cloruro	-
Aluminio	Sólido	Inadecuado	Inadecuado	Bueno en atmósferas con bajas concentraciones de cloruros y sulfuros	Soluciones Alcalinas	Cobre
Plomo	Sólido Como cubierta	Sólido Como cubierta	Inadecuado	Bueno en atmósferas con altas concentraciones sulfatos	Sólidos Ácidos	Cobre y acero inoxidable

**NOTAS**

- Esta tabla es una guía general únicamente. En circunstancias especiales se debe realizar más cuidadosamente la inmunidad corrosiva de los materiales a usar
- Conductores trenzados son más vulnerables a la corrosión que aquellos sólidos. Los conductores trenzados son también vulnerables en el momento en que ellos entran o salen de posiciones con concreto y tierra. Esta es la razón principal para no recomendar que los conductores trenzados de acero galvanizado no sean recomendados para tierra.
- El acero galvanizado puede ser corroído en suelos arcillosos o húmedos.
- El acero galvanizado en concreto no debe ser extendido al suelo con el fin de evitar la corrosión en el extremo saliente del concreto
- Acero galvanizado en contacto con el acero del concreto reforzado puede, en algunas circunstancias, causar daño al concreto
- Uso de plomo en el suelo es evitado o prohibido debido a problemas ambientales

Tabla 19. Material, Configuración y Mínima área de la sección transversal para cables o varillas de terminales aéreos y bajantes

Material	Configuración	Mínima área cuadrículada <sup>8)</sup> (mm <sup>2</sup> )	Comentarios
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm min. de grosor
	Alambre 7)	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Alambre 3),4)	200	16 mm de diámetro
Cobre con galvanizado delgado 1)	Cinta sólida	50	2 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
Aluminio	Cinta sólida	70	3 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
Aleación de aluminio	Cinta sólida	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Alambre 3)	200	16 mm de diámetro
Acero galvanizado en caliente 2)	Cinta sólida	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	50	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Alambre 3),4)	200	16 mm de diámetro
Acero inoxidable 5)	Cinta sólida 5)	50	2,5 mm min. de grosor
	Alambre 5)	50	8 mm de diámetro
	Trenzado	70	1,7 mm min. de diámetro por hilo
	Alambre 3),4)	200	16 mm de diámetro
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recubrimiento en caliente o galvanizado, grosor mínimo de la capa de 1 µm.</li> <li>- El recubrimiento debería ser liso, continuo y libre de impurezas, grosor mínimo de la capa de 50 µm.</li> <li>- Aplicable sólo para varillas tipo franklin. Para aplicaciones donde la tensión mecánica como la carga del viento no son determinantes, un de diámetro 10 mm, una varilla tipo franklin de 1 m de longitud máxima con una fijación adicional se puede usar.</li> <li>- Aplicable sólo a varillas de tierra con alma de plomo.</li> <li>- Cromo ≥ 16 %, níquel ≥ 8 %, carbón ≤ 0,07 %.</li> <li>- Para acero inoxidable incrustado en concreto, y/o en contacto directo con material inflamable, los tamaños mínimos deberían ser aumentados a 78 mm<sup>2</sup> (10 mm de diámetro) para alambre y 75 mm<sup>2</sup> (grosor mínimo de 3 mm) para cinta sólida.</li> <li>- 50 mm<sup>2</sup> (8 mm de diámetro) se puede reducir a 28 mm<sup>2</sup> (6 mm de diámetro) en ciertos usos donde la fuerza mecánica no es un requisito esencial. Se debería considerar, en este caso, reducir el espacio entre los aseguradores.</li> <li>- Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60 mm<sup>2</sup> para cinta sólida y a 78 mm<sup>2</sup> para alambre.</li> <li>- La sección transversal mínima para evitar que se derrita es 16 mm<sup>2</sup> (cobre), 25 mm<sup>2</sup> (aluminio), 50 mm<sup>2</sup> (acero) y 50 mm<sup>2</sup> (acero inoxidable) para una energía específica de 10 000 kJ/Ω. Información adicional véase el Anexo D.</li> <li>- El grosor, el ancho y el diámetro son definidos en ±10 %.</li> </ul>			

Tabla 20. Materiales, configuraciones y dimensiones mínimas de los electrodos de tierra

Material	Configuración	Dimensiones mínimas			Comentarios
		Varilla de tierra $\phi$ mm	Conductor de tierra	Placa de Tierra mm	
Cobre	Trenzado <sup>3</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Diámetro. mín. de cada trenza: 1,7 mm
	Redondo sólido <sup>3</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Diámetro 8 mm
	Cinta sólida <sup>3</sup>		50 mm <sup>2</sup>		Espesor mín. 2 mm
	Redondo sólido	15 <sup>8</sup>			Espesor mín. del muro 2 mm
	Tubería	20			Espesor mín 2 mm
	Placa sólida			500 x 500	Sección 25 mm x 2 mm
	Placa cuadriculada			600 x 600	Longitud mín. de la config. cuadriculada: 4,8 m
Acero	Redondo sólido galvanizado <sup>1,2</sup>	16 <sup>9</sup>			Espesor mín. del muro 2 mm
	Tubería galvanizada <sup>1,2</sup>	25			Espesor mín. 3 mm
	Cinta sólida galvanizada <sup>1</sup>				Espesor mín. 3 mm
	Placa sólida galvanizada <sup>1</sup>		500 x 500		Sección 30 mm x 3 mm
	Placa cuadriculada galvanizada <sup>1</sup>		600 x 600		Long. radial mín. 250 $\mu$ m
	Redondo sólido recubierto en cobre <sup>4</sup>	14			Recubrimiento de cobre 99,9 %
	Redondo desnudo <sup>5</sup>				Contenido de cobre
	Cinta sólida galvanizada o desnuda <sup>5,6</sup>	50 x 50 x 3			Espesor mín. 3 mm
	Trenzado galvanizado <sup>5,6</sup>				Diám. mín. de cada trenza: 1,7 mm
Perfil cruzado galvanizado <sup>1</sup>					
Acero inoxidable <sup>7</sup>	Lazo cerrado sólido	15	Diám. 10 mm		
	Cinta sólida		100 mm <sup>2</sup>		Espesor mín. 2 mm

1) El recubrimiento debe ser fino, continuo y libre de impurezas, con un espesor mínimo de 50  $\mu$ m para un forma redonda y 70  $\mu$ m para material plano.

2) Los hilos deben ser elaborados a máquina antes de la galvanización.

3) Puede además ser recubierto de estaño.

4) El cobre debería ser unido intrínsecamente al acero.

5) Únicamente permitido cuando esta completamente embebido en concreto.

6) Únicamente permitido cuando esta correctamente conectado al menos cada 5 m con el reforzamiento de acero de los cimientos.

7) Cromo  $\geq$  16 %, níquel  $\geq$  5 %, molibdeno  $\geq$  2 %, carbón  $\leq$  0.08 %

8) En algunos países es permitido 12 mm

9) El aterrizamiento en punta es usados en algunos países para conectar la bajante al punto donde entra al terreno.

### **5.5.5 Continuidad en acero de estructuras de concreto reforzado**

Se puede considerar que el material de acero dentro de las estructuras de concreto es eléctricamente continuo si la mayor parte de interconexiones de las barras verticales y horizontales son soldadas o conectadas seguramente. Las conexiones de las barras verticales deben ser soldadas, sujetadas con abrazaderas o traslapadas mínimo 20 veces su diámetro y atado o seguramente conectado. Para estructuras nuevas, las conexiones entre los elementos de refuerzo deben ser especificadas por el diseñador o instalador, en colaboración del constructor y el ingeniero civil. Para estructuras que usen el acero de los refuerzos del concreto se debe determinar la continuidad eléctrica de los refuerzos mediante una prueba eléctrica entre la parte superior y la parte inferior a nivel del suelo. La resistencia general medida no debe ser superior a  $0,2 \Omega$ , usando un equipo adecuado para este propósito. Si este valor no es logrado, o no es práctico llevar a cabo esta prueba, el refuerzo de acero no deberá ser usado como una bajante natural del sistema. En este caso es recomendable que una bajante externa sea instalada: En el caso de estructuras con concreto reforzado prefabricado, la continuidad eléctrica debe ser establecida entre unidades prefabricadas.

NOTA 23 Para mayor información en la continuidad del acero en los concretos reforzados véase el Anexo D

NOTA 24 En algunos países, el uso de concreto reforzado como parte del SIPRA no es permitido.

## **6. SISTEMA DE PROTECCIÓN INTERNO**

### **6.1 GENERAL**

El sistema de protección interno evita la ocurrencia de chispas (descargas eléctricas) peligrosas que podrían presentarse en el interior de la estructura, a causa de la circulación de corriente de rayo en el sistema de protección externo o en otras partes conductoras de la estructura.

Pueden existir descargas eléctricas peligrosas entre el sistema de protección externo y otros componentes como:

- Instalaciones metálicas;
- Sistemas eléctricos y electrónicos que ingresan a la estructura a proteger,
- Partes conductoras externas y líneas conectadas a la estructura.

NOTA 25 La ocurrencia de (descargas eléctricas) chispas en estructuras con peligro de explosión, requieren de medidas adicionales de protección (véase el Anexo C)

NOTA 26 Para la protección contra sobretensiones en sistemas internos consulte la NTC 4552-4

Descargas eléctricas peligrosas entre diferentes partes de una instalación pueden ser evitadas con:

- Uniones equipotenciales de acuerdo con el numeral 6.2, ó
- Aislamiento eléctrico entre las partes en concordancia con el numeral 6.3

## 6.2 UNIONES EQUIPOTENCIALES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

### 6.2.1 General

La equipotencialización se logra mediante la interconexión del sistema de protección contra rayos con:

- partes metálicas de la estructura;
- Instalaciones metálicas;
- Partes conductoras externas y líneas (de servicio) conectadas a la estructura;
- Sistemas eléctricos y electrónicos dentro de la estructura a ser protegida.

El establecimiento de uniones equipotenciales con sistemas internos puede originar la circulación de corrientes parciales de rayo en dichos sistemas, razón por la cual los efectos de éstas se deberán considerar.

Los medios de interconexión pueden ser:

- Conductores equipotenciales donde no existe continuidad eléctrica por unión natural.
- Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPSs), cuando la unión con conductores equipotenciales no es conveniente.

La manera como se logren las uniones equipotenciales es importante, razón por la cual se deberá discutir con los diferentes operadores de red (telecomunicaciones, red eléctrica, control) o autoridades concernientes, cuando puedan existir requerimientos opuestos.

Los DPS deberán ser instalados de tal forma que puedan ser inspeccionados.

NOTA 27 Cuando un sistema de protección contra rayos es instalado, estructuras metálicas externas a la edificación a proteger pueden ser afectadas. Esta situación se deberá tener en cuenta en el diseño de dichos trabajos. Una unión equipotencial con estas estructuras puede llegar a ser necesaria.

### 6.2.2 Unión equipotencial para instalaciones metálicas

En sistemas aislados de protección externo contra rayos, la unión equipotencial se deberá realizar solo a nivel de tierra.

Para sistemas de protección externo no aislados, se deben realizar uniones equipotenciales en los siguientes lugares:

- a) En el sótano o aproximadamente en el nivel del suelo. Deberán conectarse Conductores equipotenciales a una barra equipotencial instalada de tal manera que sea de fácil acceso e inspección. La barra equipotencial debe ser conectada al sistema de puesta a tierra. Para estructuras grandes (mayores a 20 m de longitud), más de una barra equipotencial puede ser instalada, siempre y cuando sean interconectadas.
- b) Donde requerimientos de aislamiento no son cumplidos (véase el numeral 6.3)

Las uniones equipotenciales deberán realizarse lo más cerca y con el menor número de curvas posibles.

NOTA 28 Cuando se establece una unión equipotencial con una parte conductora de la estructura, parte de la corriente de rayo podría fluir hacia el interior de la estructura y sus efectos deberán ser tenidos en cuenta.

La mínima sección transversal de los conductores equipotenciales conectados a diferentes barras equipotenciales y la de los conductores que conectan las barras equipotenciales con el sistema de puesta a tierra se listan en la Tabla 8.

La mínima sección transversal de los conductores equipotenciales conectados entre partes metálicas internas y barras equipotenciales se listan en la Tabla 9.

Si en una tubería metálica se insertan piezas aislantes sus extremos metálicos deberán ser equipotencializados mediante el uso de DPS del tipo conmutación de la tensión (véase el numeral D.6.2.2).

Los dispositivos tendrán las siguientes características:

- Debe soportar descargas parciales de rayo
- $I_{IMP} \geq kc^* I$ , Donde  $kc^* I$  es la corriente de rayo que fluye a lo largo de la parte relevante del sistema de protección externo. (Véase la Tabla 11);
- El nivel de protección en tensión deberá ser menor que el nivel de aislamiento al impulso del aislamiento entre las partes.

### **6.2.3 Unión equipotencial para partes conductoras externas y acometidas de servicio conectadas a la estructura**

Para partes conductoras externas se deben establecer uniones equipotenciales lo más cerca posible a los puntos de entrada a la estructura a ser protegida.

Los conductores equipotenciales deberán estar en capacidad de soportar la corriente parcial de rayo calculada en el Anexo A.

Si uniones equipotenciales directas no son permitidas, deberán utilizarse DPS del tipo conmutación de la tensión con las siguientes características:

- $I_{IMP} \geq kc^* I$ , Donde  $kc^* I$  es la corriente de rayo que fluye a lo largo de la parte relevante del sistema de protección externo. (Véase la Tabla 11);
- El nivel de protección en tensión deberá ser menor que el nivel de aislamiento al impulso del aislamiento entre las partes;

La NTC 4552-2 prevé las condiciones cuando no existe la necesidad de un sistema de protección contra rayos.

### **6.2.4 Unión equipotencial para sistemas internos**

Es imperativo que las uniones equipotenciales se realicen como se describe en el numeral 6.2.2 a) y 6.2.2 b).

Si el sistema de conductores internos está apantallado o está tendido en tubería metálica; Podrá ser suficiente el establecer uniones equipotenciales con el apantallamiento o con la tubería. (Véase el Anexo B).

NOTA La unión equipotencial del apantallamiento o de la tubería metálica no garantiza la protección contra sobretensiones transitorias en los equipos conectados a los conductores allí alojados. Para protección de tales equipos consulte la NTC 4552-4.

Si el sistema de conductores internos no se encuentra apantallado ni localizado en tubería metálica, éstos deberán ser equipotencializados vía DPSs. En sistemas de puesta a tierra Tipo TN, el conductor PE y PEN serán unidos directamente al sistema de protección contra rayos o mediante DPS.

Los conductores equipotenciales y los DPS deberán cumplir las características descritas en el numeral 6.2.2

Si se requiere protección contra sobretensiones para sistemas internos, los DPS deberán cumplir también con los requerimientos de la NTC 4552-4.

### **6.2.5 Uniones equipotenciales para líneas conectadas a la estructura a proteger**

Las uniones equipotenciales para líneas de telecomunicaciones y eléctricas deben instalarse en concordancia con el numeral 6.2.3.

Todos los conductores de cada línea deberán ser equipotencializados directamente o a través de DPS. Los conductores activos se equipotencializarán solamente a través de DPS. En sistemas TN, los conductores PE o PEN se pueden equipotencializar con conexiones directas a la barra equipotencial o mediante DPS.

Si las líneas están apantalladas o enrutadas en tubería metálica, estos apantallamientos y tuberías deberán ser equipotencializados; La unión equipotencial de conductores no es necesariamente requerida si la sección transversal de su apantallamiento  $S$  no es menor a  $S_{min}$  descrita en el Anexo C.

Las uniones equipotenciales de las pantallas de los cables o de las tuberías metálicas deben realizarse lo más cerca posible al punto de acceso a la estructura.

Los conductores equipotenciales y los DPS deberán dimensionarse como se indica en el numeral 6.2.3.

Si se requiere protección contra sobretensiones para sistemas internos conectados a líneas que ingresan a la estructura, los DPS deberán cumplir también con los requerimientos de la NTC 4552-4.

NOTA 29 Cuando uniones equipotenciales son requeridas, pero el sistema de protección contra rayos no es requerido, el sistema de puesta a tierra del sistema eléctrico de baja tensión puede ser usado para este fin.

NOTA 30 Con respecto a uniones equipotenciales para líneas de telecomunicaciones consulte también la NTC 4552-5.

## **6.3 AISLAMIENTO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN**

El aislamiento eléctrico entre los pararrayos o las bajantes respecto a: partes metálicas internas, sistemas eléctricos, líneas de telecomunicaciones a ser protegidas, puede ser logrado mediante distancias de separación  $S$  entre las partes así:

$$S > k_i \frac{k_c}{k_m} l \quad (m)$$

en donde:

- $k_i$  depende del nivel de protección del sistema de protección contra rayos (véase la Tabla 10);
- $k_c$  depende del flujo de corriente por los conductores bajantes (véase la Tabla 11)
- $k_m$  depende del aislamiento entre las partes (véase la Tabla 12)
- $l$  es la longitud en metros, a lo largo del terminal captador o el conductor bajante, medido desde el punto de distancia de separación bajo consideración y la unión equipotencial más cercana.

En el caso de líneas o partes conductoras externas conectadas a la estructura, es siempre necesario asegurar la unión equipotencial (por conexión directa o por medio de DPS) en el punto más cercano al ingreso a la estructura.

En estructuras metálicas conectadas a estructuras de concreto reforzado con continuidad eléctrica ininterrumpida, las distancias de separación no son necesarias.

Tabla 21. Valores del coeficiente  $k_1$  (véase el numeral 6.3) para Aislamiento Externo

Clase de SIPRA	$k_i$
I	0,08
II	0,06
III - IV	0,04

Tabla 22. Valores del coeficiente  $k_c$  (véase el numeral 6.3) para Aislamiento Externo

Número de bajantes n	$K_c$
1	1
2	1 ... 0.5
4 o más	1 ... 1/n

Tabla 12. Valores del coeficiente  $k_m$

Material	$K_m$
Aire	1
Concreto	0,5
NOTA 1 Cuando hay algunos materiales aislantes en serie, es una buena práctica utilizar el valor más bajo de $k_m$	
NOTA 2 El uso de otros materiales aislantes está bajo consideración	

## 7. MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE UN SIPRA

### 7.1 OBJETIVO

El objetivo de las inspecciones es determinar que:

- a) el SIPRA esté de acuerdo con el diseño basado en esta norma
- b) Todos los componentes del SIPRA estén en buena condición, aptos para realizar las funciones para las cuales fueron diseñados y evitar la presencia de corrosión.

- c) Estén incorporados dentro del SIPRA de la edificación las construcciones o servicios adicionados recientemente.

## **7.2 ORDEN DE LAS INSPECCIONES**

Las inspecciones deben ser realizadas de acuerdo con 7.1 como sigue:

- Durante la construcción de la estructura, con el fin de verificar los electrodos embebidos
- Después de la instalación del SIPRA
- Periódicamente a intervalos determinados con respecto a la naturaleza de la estructura a ser protegida, por ejemplo dependiendo de los problemas de corrosión y la clase del SIPRA.

NOTA 28 para información detallada véase el numeral D.7

- Después de alteraciones o reparaciones, o cuando se tiene conocimiento que la estructura ha sido impactada por el rayo

Durante la inspección periódica es importante verificar lo siguiente:

- Deterioro y corrosión de elementos de terminales de captación aéreos, conductores y conexiones;
- Corrosión de los electrodos de puesta a tierra
- Valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra
- Condiciones de conexión, unión equipotencial y fijación

## **7.3 MANTENIMIENTO**

Las inspecciones regulares están entre las condiciones fundamentales para el mantenimiento confiable de un SIPRA. El propietario será informado de todas las fallas observadas y ellas deberán ser reparadas sin demora.

## **8. MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LESIONES A SERES VIVOS DEBIDO A TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO**

### **8.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA TENSIONES DE CONTACTO Y PASO.**

En ciertas condiciones, la cercanía de los conductores bajantes de un SIPRA, a las afueras de una estructura, podría ser riesgosa para la vida incluso si el SIPRA ha sido construido de acuerdo con los requerimientos mencionados anteriormente.

El riesgo es reducido a un nivel tolerable si una de las siguientes condiciones es realizada:

Si la probabilidad de personas próximas a la estructura, o la duración de su presencia fuera de la estructura y cerca de los conductores bajantes es bastante baja.

- a) Si el sistema natural de conductores bajantes consiste en muchas columnas con marcos metálicos en la estructura o de gran cantidad de acero interconectado a la estructura, con continuidad eléctrica asegurada.

- b) Si la resistividad de la capa superficial del suelo, a 3 m de un conductor bajante, no es inferior a 5000  $\Omega\text{m}$ .

NOTA 31 Una capa de material aislante por ejemplo asfalto de 5 cm. de grosor (o una capa de grava de 15 cm. de grosor) generalmente reduce el riesgo a un nivel tolerable

Si ninguna de estas condiciones se lleva a cabo, se deberán adoptar medidas de protección contra daños a seres vivos debidos a tensiones de contacto o de paso, como sigue:

- Aislamiento del conductor bajante garantizado mediante una prueba de impulso de 100 kV a 1,2/50  $\mu\text{s}$ . Por ejemplo polietileno reticulado de 3 mm de espesor.
- Restricciones físicas y/o avisos de advertencia para minimizar la probabilidad de que los conductores bajantes sean tocados.
- Equipotencialización, por ejemplo, mediante anillos concéntricos en el sistema de puesta tierra.

Las medidas de protección deberían estar en conformidad con normas relevantes (véase la norma ISO 3864-1).

ANEXO A

CIRCULACIÓN DE CORRIENTE DE RAYO EN PARTES CONDUCTORAS EXTERNAS Y  
ACOMETIDAS DE SERVICIO CONECTADAS A LA ESTRUCTURA

A.1 SOBRETENSIONES DEBIDAS A IMPACTOS DIRECTOS DE RAYO EN LA  
ESTRUCTURA

Cundo se conducen la corriente de rayo a tierra, esta es repartida entre los sistemas puestos a tierra (partes conductoras externas, líneas de acometidas de servicios, puesta a tierra del sistema de protección contra rayos); La conducción de la corriente puede ser directa o a través de DPS según la forma como se halla equipotencializado los sistemas.

Sea  $I_f$  la corriente parcial de rayo conducida a tierra a través de las partes conductora externa o acometidas de servicio, la cual se define como:

$$I_f = k_e I \quad \text{Ec (A.1)}$$

en donde

$k_e$  = proporción de la corriente de rayo por las partes conductoras externas o acometidas de servicio conectadas a la estructura.

$I$  = corriente de rayo.

El factor  $K_e$  depende de: el número de acometidas o partes conductoras externas equipotencializadas; La impedancia convencional a tierra de partes enterradas, o su resistencia de puesta a tierra; y la impedancia convencional a tierra del sistema de protección contra rayos.

El factor  $K_e$  para acometidas o partes conductoras subterráneas se puede estimar con la ecuación A2; para acometidas aéreas con la ecuación A.3

$$k_c = \frac{Z}{Z_1 + Z \times \left( n_1 + n_2 \times \frac{Z_1}{Z_2} \right)} \quad \text{Ec (A.2)}$$

$$k_c = \frac{Z}{Z_1 + Z \times \left( n_2 + n_1 \times \frac{Z_1}{Z_2} \right)} \quad \text{Ec (A.3)}$$

en donde

$Z$  es la impedancia convencional a tierra del sistema de protección contra rayos (véase la Tabla A.1)

$Z_1$  es la impedancia convencional a tierra de las partes externas o de las líneas enrutadas bajo tierra (Tabla B.1)

$Z_2$  es la resistencia de puesta a tierra del arreglo de líneas aéreas.

$n_1$  es el número global de partes externas o acometidas subterráneas

$n_2$  es el número global de partes externas o acometidas aéreas

$I$  corriente de rayo (Valor asignado según el nivel de protección)

Si el valor de  $Z_2$  no es conocido se puede tomar el valor de la Tabla A.1 utilizando la resistividad del punto de aterrizamiento.

Cuando los valores de resistividad son desconocidos o difíciles de estimar, el valor de  $K_e$  se puede calcular con la ecuación A.4

$$k_e = \frac{0,5}{n_1 + n_2} \quad \text{Ec A.4}$$

Si las líneas que ingresan (ej. Líneas eléctricas, líneas de telecomunicación) no son apantalladas o no están enrutadas en tubería metálica; cada uno de los  $n'$  conductores que las conforman llevarán corriente parcial de rayo en igual proporción así:

$$k'_e = \frac{k_e}{n'} \quad \text{Ec A.5}$$

Para líneas apantalladas que han sido equipotencializadas en su ingreso a la estructura, el cálculo de la corriente parcial de rayo por los conductores internos esta dado por

$$k'_e = \frac{k_e \cdot R_s}{n' \cdot R_s + R_c} \quad \text{Ec A.6}$$

en donde

$R_s$  = resistencia por unidad de longitud del apantallamiento

$R_c$  = resistencia por unidad de longitud del conductor interno

$n'$  = número de conductores de una línea apantallada

**Tabla A.1. Valores Convencionales de impedancia de puesta a tierra  $Z$  y  $Z_1$  en función de la resistividad del suelo**

$\rho$ $\Omega\text{m}$	$Z_1$ $\Omega$	Impedancia de puesta a tierra convencional en relación con el tipo de SIPRA		
		$Z$ $\Omega$		
		I	II	III - IV
$\leq 100$	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

NOTA Los valores reportados en esta tabla están referidos a la impedancia de puesta a tierra convencional de un conductor enterrado bajo condiciones de impulso (10/350 $\mu\text{s}$ )

**A.1.1 Factores que influyen en el comportamiento de la corriente parcial de rayo en redes eléctricas**

Diferentes factores pueden influir en la distribución y forma de onda de corrientes parciales de rayo en los conductores de la acometida eléctrica:

- La longitud y relación L/R
- Diferencias en la impedancia del neutro y los conductores de fase.

NOTA A.1 Por ejemplo si el conductor N está múltiplemente aterrizado, la baja impedancia en comparación con los conductores L1, L2, L3; en este caso el conductor N podrá llevar el 50 % de la corriente y los conductores L1, L2, L3 aproximadamente  $50 \% / 3 \approx 17 \%$

- Las diferentes impedancias de los transformadores (Este efecto es insignificante cuando se protege los bornes del transformador con DPSs)
- La relación entre la resistencia de puesta a tierra convencional del transformador y la de sus consumidores (Una menor impedancia en el transformador hace que fluya mayor corriente hacia este).
- Consumidores en paralelo causan una reducción de la impedancia eficaz del sistema de baja tensión lo que puede incrementar la corriente parcial de rayo en este sistema

**A.2 SOBRETENSIONES DEBIDAS A IMPACTOS DE RAYO SOBRE ACOMETIDAS DE SERVICIO CONECTADAS A LA ESTRUCTURA**

Para descargas de rayo sobre acometidas de servicio, se debe tener en cuenta que la corriente de rayo se divide en las dos direcciones de la acometida de servicio y se producirá disrupción del aislamiento a tierra. Sin embargo la severidad en este caso es usualmente menor que la debida a impactos directos de rayo en la estructura.

NOTA Las sobretensiones debidas a la fuente de daño S4 (impactos cerca de la acometida de servicio) son mucho menores que las producidas por la fuente S3 (Impactos directos a la acometida de servicios) y por esta razón son despreciados.

**ANEXO B**  
(Normativo)

**SECCIÓN TRANSVERSAL MÍNIMA DE LA PANTALLA DEL CABLE DE ENTRADA PARA EVITAR CHISPAS PELIGROSAS**

Las sobretensiones entre los conductores de fase y la pantalla del cable debido a una corriente tipo descarga atmosférica, conducida por la pantalla puede causar chispas peligrosas. Ello depende del material, las dimensiones de la pantalla, la longitud y la posición del cable

El valor mínimo  $S_{min}$  (en  $mm^2$ ) del área de la sección transversal de la pantalla para evitar chispas peligrosas esta dada por:

$$S_{min} = \frac{I_f \times \rho_C \times L_C \times 10^6}{U_C} \quad (B.1)$$

en donde

$I_f$  es la corriente que fluye por la pantalla en kA;

$\rho_C$  es la resistividad de la pantalla en  $\Omega m$ ;

$L_C$  es la longitud del cable en m ( véase la Tabla B.1 );

$U_C$  es la resistencia (Soportabilidad) al impulso de tensión del sistema eléctrico/electrónico alimentado por el cable en kV

**Tabla B.1. Longitud del cable que debe ser considerada de acuerdo a la disposición de la pantalla**

Disposición de la pantalla	$L_c$
En contacto con un suelo de resistividad	$L_c \leq 8\sqrt{\rho}$
Aislada del suelo o en el aire	distancia $L_c$ entre la estructura y los puntos más cercanos de conexión a tierra a la pantalla

NOTA B.1 Esto es cierto si ocurre una elevación inaceptable de temperatura para el aislamiento de la línea, cuando la corriente de la descarga fluye por la línea apantallada o los conductores de la línea. Para una información detallada véase la NTC 4552-4.

Los límites de la corriente están dados para:

- Cables apantallados, por  $I_f = 8S$ ; y
- Cables no apantallados, por  $I_f = 8n'S'$

en donde

$I_f$  es la corriente en la pantalla en kA

$n'$  es el numero de conductores

$S$  es la sección transversal de la pantalla en  $mm^2$

$S'$  Es la sección transversal de cada conductor en  $mm^2$

ANEXO C  
(Informativo)

DIVISIÓN DE LA CORRIENTE DE LA DESCARGA ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA  
A TRAVÉS DE LAS BAJANTES

El coeficiente de división  $k_c$  de la corriente de la descarga eléctrica atmosférica a través de los bajantes depende del número total  $n$  y de la posición de las bajantes, de los anillos de interconexión (equipotencializadores), del tipo de sistema de captación y del tipo de puesta a tierra como se indica en la Tabla C.1.

Para un arreglo de puesta a tierra Tipo A, la condición es que la resistencia de puesta a tierra de cada electrodo tenga un valor similar, para el arreglo Tipo B, aplica la siguiente Tabla C.1:

Tabla C.1. Valores del coeficiente  $k_c$

Tipo de sistema de captación aéreo	Número de bajantes	$K_c$	
		Arreglo de puesta a tierra Tipo A	Arreglo de puesta a tierra Tipo B
Electrodo simple	1	1	1
Cable	2	0,66 <sup>d</sup>	0.5 ... 1 (Véase la Figura C.1) <sup>a</sup>
Malla	4 o más	0,44 <sup>d</sup>	0.25 ... 0.5 (Véase la Figura C.2) <sup>b</sup>
Malla	4 o más, conectados por anillos de conductores horizontales	0.44 <sup>d</sup>	1/n ... 0,5 (Véase la Figura C.3) <sup>c</sup>
<sup>a</sup> Rango de los valores de $k_c = 0,5$ cuando $c \ll h$ a $k_c = 1$ cuando $h \ll c$ (véase la Figura D.1). <sup>b</sup> La ecuación para $k_c$ de acuerdo a la Figura D.2 es una aproximación para estructuras cúbicas y para $n_4$ . Los valores de $h$ , $C_s$ y $C_d$ se asume que se encuentran en el rango de los 5 m a 20 m. <sup>c</sup> Si los bajantes están conectados horizontalmente por anillos conductores, la distribución de corrientes es mas homogénea en las partes bajas del sistema de bajantes y $k_c$ es mas reducido. Esto es válido, especialmente en estructuras altas. <sup>d</sup> Estos valores son válidos para electrodos de tierra simples que tienen resistencia de puesta a tierra similares. Si la resistencia de puesta a tierra de los electrodos simples son evidentemente diferentes, se asume $k_c = 1$ .			

NOTA C.1 pueden ser usados otros valores de  $k_c$  si se realizan los cálculos detalladamente.

$$k_C = \frac{h+c}{2h+c}$$

Figura C.1 Valores del coeficiente  $k_C$  en el caso de un cable de sistema de captación con una puesta a tierra Tipo B

$$k_C = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_S}{h} \cdot \sqrt{\frac{C_d}{C_S}}}$$

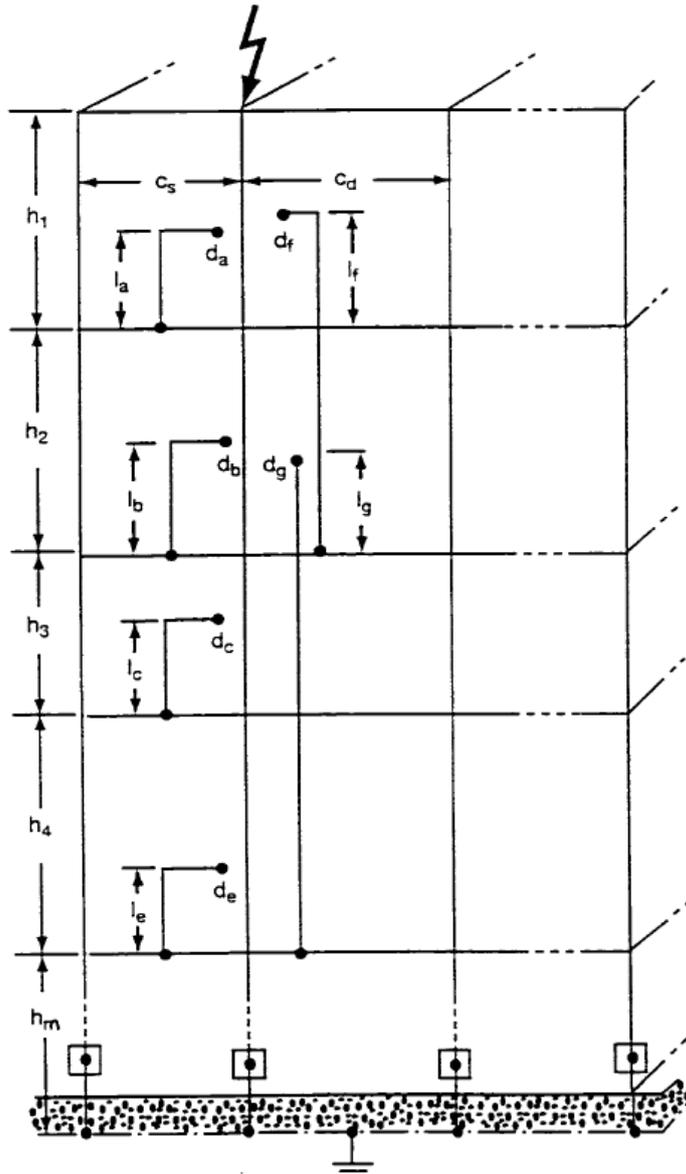
en donde

- $n$  número total de bajantes
- $C_S$  distancia al bajante siguiente por uno de los lados.
- $C_d$  distancia al bajante siguiente por otro de los lados.
- $h$  espacio entre los anillos conductores. (equipotencializadores)

NOTA C.2 Para una evaluación detallada de los valores de  $k_C$ , aplicar la Figura D.3

NOTA C.3 Si existen bajantes internos, estos deben tenerse en cuenta en la evaluación de  $k_C$ .

Figura C.2 Valores del coeficiente  $k_C$  en el caso de un sistema de terminales aéreos reticulado y un sistema de terminación a tierra Tipo B



$$d_a \geq S_a = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c1} \cdot l_a$$

$$d_b \geq S_b = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c2} \cdot l_b$$

$$d_c \geq S_c = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c3} \cdot l_c$$

$$d_e \geq S_e = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_{c4} \cdot l_e$$

$$d_f \geq S_f = \frac{k_i}{k_m} \cdot (k_{c1} \cdot l_f + k_{c2} \cdot h_2)$$

$$d_g \geq S_g = \frac{k_i}{k_m} \cdot (k_{c1} \cdot l_g + k_{c2} \cdot h_2)$$

$$d_g \geq S_g = \frac{k_i}{k_m} \cdot (k_{c2} \cdot l_g + k_{c3} \cdot h_3)$$

$$k_{c1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{C_s}{h_1} \cdot \frac{C_d}{C_s}}$$

$$k_{c2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{c3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$k_{c4} = \frac{1}{n}$$

$$k_{cm} = k_{c4} = \frac{1}{n}$$

en donde

- $n$  numero total de bajantes
- $m$  numero total de niveles de la estructura
- $c_s$  distancia del bajante más cercano por uno de los lados
- $c_d$  distancia del bajante al más cercano por el otro de los lados.
- $h$  espaciamiento entre anillos conductores
- $d$  distancia al anillo conductor más cercano
- $s$  distancia de separación
- $l$  altura sobre el anillo conductor (equipotencialización)

Figura C.3 Ejemplo del cálculo de la distancia de separación en el caso de un sistema de captación enmallado, un anillo interconectando los bajantes a cada nivel y una puesta a tierra Tipo B

**ANEXO D  
(Informativo)**

**INFORMACION ADICIONAL PARA SIPRA EN EL CASO DE ESTRUCTURAS CON RIESGO  
DE EXPLOSION**

**D.1 GENERALIDADES**

Este anexo proporciona información adicional para el diseño, construcción, ampliación y modificación de sistemas de protección contra rayos para estructuras con riesgo de explosión.

NOTA D.1 La información proporcionada en este anexo esta basada en configuraciones probadas, de sistemas de protección contra rayos, instaladas en aplicaciones donde existe peligro de explosión.

Donde la protección contra rayos es requerida por las autoridades competentes, o como resultado de una evaluación de riesgo hecha en acuerdo con la norma IEC 62305-2, se debe adoptar por lo menos un SIPRA Clase II. En este anexo se proporciona información complementaria para aplicaciones específicas.

NOTA D.2 Excepciones para el uso de protección contra rayos de Nivel II pueden ser permitidas cuando sea técnicamente justificado y autorizado por las autoridades competentes. Por ejemplo el uso de SIPRA Nivel I se permite en todos los casos, especialmente en aquellos donde el ambiente o los contenidos dentro de la estructura son excepcionalmente sensibles a los efectos de los rayos. Además, las autoridades competentes pueden permitir SIPRA de Nivel III, donde la baja actividad de los rayos y/o la insensibilidad del contenido de las estructuras lo garanticen como tal.

**D.2 TÉRMINOS ADICIONALES Y DEFINICIONES**

Además de los términos y definiciones de la Cláusula 3 de esta norma, los siguientes términos y definiciones son aplicables a este anexo.

**D.2.1 Vías de chispa de separación**

Componente para aislar eléctricamente, secciones conductoras de una instalación.

NOTA en el evento de un rayo, las secciones de instalación se conectan temporalmente como resultado de la descarga.

**D.2.2 Materiales explosivos sólidos**

Los compuestos químicos sólidos, mezclas o dispositivos con explosión como su principal o propósito común.

**D.2.3 Zona 0**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva que consiste de una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o neblina, se presenta continuamente o por largos periodos o frecuentemente.

**D.2.4 Zona 1**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva que consiste de una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o neblina es común en condiciones de operación normal [IEV 426-03-04, modified] 62305-3/FDIS IEC – 47 –

### **D.2.5 Zona 2**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva que consiste de una mezcla de aire y sustancias inflamables en la forma de gas, vapor o neblina no es común en condiciones de operación normal, pero si ocurre persistirá solo para un corto periodo. [IEV 426-03-05, modified]

NOTE 1 En esta definición la palabra "persistir" significa el total del tiempo para el cual la atmósfera inflamable existe. Esto normalmente comprenderá el total de la duración de la liberación de esta, más el tiempo tomado por la atmósfera inflamable para dispersarse después que la liberación se haya detenido.

NOTA 2 Indicaciones de la frecuencia de la ocurrencia y duración debe ser tomada de los códigos relacionados a industrias específicas o aplicaciones

### **D.2.6 Zona 20**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo de combustible en el aire, se presenta continuamente, o por largos periodos, o frecuentemente [IEC 61241-10:1997, modificado]

### **D.2.7 Zona 21**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo de combustible en el aire, es común que ocurra ocasionalmente en condiciones de operación normal.

### **D.2.8 Zona 22**

Un lugar en el cual una atmósfera explosiva, en forma de nube de polvo de combustible en el aire no es común que ocurra en condiciones de operación normal, pero, si ocurren estas, persisten por un periodo corto.

## **D.3 REQUERIMIENTOS BÁSICOS**

### **D.3.1 Generalidades**

Los sistemas de protección contra rayos deben ser diseñados e instalados de tal manera que en caso de un rayo directo, no haya efectos de fundición o pulverización, excepto en punto de impacto.

NOTA Chispas o impactos perjudiciales en el punto de impacto pueden ocurrir. Esto debería tomarse en consideración en la ubicación de los terminales de captación. Las bajantes deben ser instaladas de tal forma que la temperatura de auto-ignición no sea superada, en las zonas donde no sea posible instalar las bajantes por fuera de la zona de peligrosa

### **D.3.2 Información requerida**

Al instalador y al diseñador del SIPRA se le debe proporcionar los planos de las estructuras que se protegerán, con las áreas en las cuales serán manejados o almacenados los explosivos sólidos y las áreas peligrosas según IEC 60079-10 e IEC 61241-10.

### **D.3.3 Puesta a tierra**

Para todos los SIPRA de estructuras con riesgo de explosión, es preferible utilizar un arreglo Tipo B, de acuerdo con el numeral 5.4.2.2

NOTA La construcción de la estructura puede proveer un equivalente efectivo del anillo conductor del arreglo Tipo B (por ejemplo tanques de almacenamiento metálicos).

La resistencia de puesta a tierra de sistema de puesta a tierra para estructuras que contengan materiales explosivos sólidos o mezclas explosivas debe ser lo mas baja posible pero no mayor a  $10 \Omega$

#### **D.3.4 Unión equipotencial**

La unión equipotencial entre los componentes del SIPRA y otras instalaciones conductoras, como las descritas en el numeral 6.2, debe ser garantizada dentro de las zonas peligrosas y en las locaciones donde materiales explosivos sólidos puedan estar presentes:

- al nivel del suelo
- donde la distancia de separación entre las partes conductoras sea menor a la distancia  $s$  calculada asumiendo un  $k_c=1$

NOTA Debido al peligro de la descargas parciales, la distancia de separación puede ser considerada solo en áreas sin mezclas explosivas. En las áreas en donde una chispa pueda causar ignición del ambiente, uniones equipotenciales adicionales serán necesarias para asegurar que no se presenten chispas en la zona 0 y en la zona 20 de las áreas peligrosas.

#### **D.4 ESTRUCTURAS QUE CONTIENEN MATERIALES EXPLOSIVOS SÓLIDOS**

El diseño del SIPRA para las estructuras que contienen materiales explosivos sólidos, debe tomar en cuenta la sensibilidad del material en la configuración en la cual se utiliza o se almacena. Por ejemplo, algunos materiales explosivos almacenados a granel son insensibles y pueden no requerir ninguna consideración adicional con excepción de las contenidas dentro de este anexo. Sin embargo, hay algunas configuraciones de los materiales explosivos que pueden ser sensibles a cambios rápidos en el campo eléctrico y/o cuando son irradiado por el campo electromagnético producido por un rayo. En estos casos puede ser necesario utilizar uniones equipotenciales adicionales o utilizar apantallamientos para tales usos.

Para estructuras que contienen materiales explosivos sólidos, se recomienda implementar un SIPRA aislado (como el definido en el numeral 5.1.2). Estructuras que se encuentran totalmente contenidas dentro de una cubierta de acero de 5 mm de espesor o equivalente (7 mm para estructuras en aluminio) pueden ser consideradas protegidas por un sistema de terminales de captación natural como el definido en el numeral 5.2.5. Los requerimientos del sistema de puesta a tierra del numeral 5.4 aplican para tales estructuras.

Donde sea posible, los DPS deben estar ubicados fuera de las zonas donde se encuentren materiales explosivos. En caso contrario los DPS deben ser del tipo a prueba de explosión o estar dentro de un encerramiento a prueba de explosión.

#### **D.5 ESTRUCTURAS QUE CONTIENEN ÁREAS PELIGROSAS**

##### **D.5.1 Generalidades**

Todos los componentes del sistema externo de protección contra rayos (terminales de captación y bajantes) deben estar separadas por lo menos 1 m de las zonas peligrosas, donde sea posible. Donde esto no sea posible, los conductores que estén a menos de 0,5 m de la zona peligrosa deben ser continuos o las conexiones deben ser hechas utilizando terminales de compresión y soldadura.

En los lugares donde una área peligrosa este localizada directamente debajo de una hoja metálica que pueda ser perforada por un rayo (véase el numeral 5.2.5), los terminales de captación debe instalarse de acuerdo con los requisitos de el numera 5.2

### **D.5.1.1 Supresión de sobretensiones**

Los DPS deben ser ubicados fuera de las zonas peligrosas donde esto sea posible. Los DPS que se ubiquen dentro de las zonas peligrosas deben estar aprobados para uso en la zona en la cual están instalados o deben estar contenidos dentro de un encerramiento aprobado para este servicio

### **D.5.1.2 Uniones equipotenciales**

Adicionalmente a los requisitos dados en el numeral D.3.4, se deben instalar uniones equipotenciales de acuerdo a las normas IEC 60079-14 e IEC 61241-14. Las conexiones a las tuberías deben ser de tal tipo que al circular corriente de rayo por ellas no ocurran chispas. Las conexiones a tuberías deben realizarse, preferiblemente con soldadura o pernos. Conexiones por medio de ganchos se permiten solamente si al momento de circular corriente de rayos por estos, la protección contra ignición es garantizada mediante pruebas y procedimientos que aseguren la confiabilidad de la conexión.

### **D.5.2 Estructuras conteniendo zonas 2 y 22**

Las estructuras donde existan áreas definidas como zonas 2 y 22 puede que no requieran medidas de protección suplementarias. Para instalaciones de producción hechas de metal (ej. Columnas externas, reactores, contenedores con ares en zona 2 y 22), de espesor y material que cumpla los requerimientos de la Tabla 3, aplica lo siguiente:

- no se requieren terminales de captación ni bajantes
- las instalaciones deben ser conectadas a tierra de acuerdo con el numeral 5

### **D.5.3 Estructuras conteniendo zonas 1 y 21**

Para estructuras donde existan áreas clasificadas como zona 1 y 21, aplican los requisitos de las zonas 2 y 22 además de lo siguiente:

- si existen piezas aislantes en las tuberías, se deben tomar las medidas de protección necesarias. Por ejemplo. Una descarga puede ser evitada utilizando una vía de chispa de separación a prueba de explosión.
- las vías de chispas de separación y las piezas aislantes debe ser insertadas fuera de las áreas con peligro de explosión.

### **D.5.4 Estructuras conteniendo zonas 0 y 20**

Para estructuras donde existan áreas clasificadas como zona 0 y 20, los requerimientos de D.5.5 aplican como suplemento a las recomendaciones dadas en esta cláusula. Las uniones equipotenciales entre el sistema de protección y otras instalaciones/estructuras/equipos serán realizadas de acuerdo con el operador del sistema. Las uniones equipotenciales utilizando vías de chispa no pueden ser realizadas sin previo acuerdo con el operador del sistema. Estos dispositivos deben especificados para el ambiente en el cuales eran instalados. Para instalaciones externas con áreas definidas como zonas 0 y 20, los requisitos de las zonas 1, 2, 21 y 22 aplican con las siguientes adiciones.

- los equipos eléctricos instalados al interior de tanques que contengan líquidos inflamables deben ser especificados para tal uso. Se deben tomar medidas para realizar la protección contra rayos, de acuerdo al tipo de construcción.

- los contenedores de acero con áreas definidas como zona 0 y 20 deben tener paredes de por lo menos 5 mm de espesor en los posibles puntos de impacto. En el caso de espesores menores se deben instalar terminales de captación.

### **D.5.5 Aplicaciones específicas**

#### **D.5.5.1 Estaciones de distribución**

En las estaciones de abastecimiento de combustible para automóviles, trenes, barcos, etc. Con áreas peligrosas definidas como zonas 2 y 22, las tuberías metálicas deben estar conectadas a tierra de acuerdo con el numeral 5. Las tuberías deben estar conectadas al acero de refuerzo de la estructura y a los rieles, donde existan, teniendo en cuenta las corrientes del ferrocarril, corrientes parásitas, fusibles, sistemas de protección catódica y similares. Las estaciones de ferrocarriles eléctricos están sujetas a normas nacionales.

#### **D.5.5.2 Tanques de almacenamiento**

Cierto tipo de estructuras utilizadas para almacenar líquidos que puedan producir vapores inflamables o usados para almacenar gases inflamables esta esencialmente autoprotectidos (son contenedores continuos con un espesor no menor a 5 mm de acero o 7 mm de aluminio, sin separaciones) y no necesitan medidas de protección adicionales. De la misma forma los tanques y tuberías totalmente enterradas no requieren terminales de captación. La instrumentación o los equipos eléctricos utilizados dentro de estas instalaciones deber estar aprobados para este uso. Las medidas de protección deben tomarse de acuerdo al tipo de construcción. Los tanques aislados o los contenedores debe conectarse a tierra de acuerdo con el numeral 5, dependiendo de la mayor de sus dimensiones horizontales (diámetro o longitud).

- hasta 20 m: una vez
- más de 20 m: dos veces

Para tanques ubicados en baterías de tanques (por ejemplo refinerías), es suficiente la conexión a tierra de cada tanque en un punto, independiente de la dimensión mayor. Los tanques en las baterías de tanques debe esta conectados unos utilizando conexiones que cumplan con las Tablas 5 y 6, tuberías las cuales sean eléctricamente conductivas de acuerdo con el numeral 5.3.5.

En el caso de tanques de techo flotante, el techo flotante debe estar efectivamente conectado con la cubierta principal del tanque. El diseño de los sellos y las derivaciones y sus ubicaciones necesita la consideración cuidadosa del riesgo de ignición de una mezcla explosiva por una chispa. Este riesgo debe ser reducido al nivel mas bajo posible.

Cuando se instalen escaleras de balanceo se deben unir ambos lados de las bisagras de la escalera utilizando un conductor flexible de 35 mm de ancho, entre el techo del tanque y la escalera y entre la escalera y el techo flotante.

En tanques de techo flotante, se deben hacer múltiples uniones entre el techo flotante y el tanque aproximadamente cada 1,5 m sobre el perímetro del techo. La selección de los materiales debe hacerse de acuerdo a los requisitos del producto y/o el ambiente. Formas alternativas de realizar esta tipo de uniones, son permitidas si están garantizadas con pruebas y procedimientos que aseguren la confiabilidad de la conexión

### **D.5.5.3 Tuberías**

Las tuberías metálicas sobre el terreno deben conectarse cada 30 m al sistema de puesta a tierra o debe ser conectadas a tierra utilizando un electrodo de puesta a tierra tipo placa y una varilla de puesta a tierra.

Lo siguiente aplica para líneas largas utilizadas para el transporte de líquidos inflamables

- en las zonas de bombeo e instalaciones similares, todas las tuberías, incluyendo las tuberías con cubierta metálica, deben estar unidas por líneas de no menos de 50 mm<sup>2</sup>
- las líneas punteadas debe ser conectadas con soldaduras especiales o con tornillos. Las piezas aislantes deben ser punteadas utilizando vías de chispa.

### **D.6    INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO**

La recomendaciones para la inspección y el mantenimiento del sistema de protección contra rayos están dada en el numeral E.7.

DOCUMENTO EN ESTUDIO

**ANEXO E  
(Informativo)**

**GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE  
SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

**E.1    GENERAL**

Este anexo suministra una guía para el diseño y construcción física, mantenimiento e inspección de un LPS conforme a esta norma.

Este anexo debe ser usado y es válido únicamente si se usa junto con las otras partes de esta norma.

Se dan ejemplos de las técnicas de protección, las cuales tienen la aprobación de expertos internacionales.

NOTA E.1 Los ejemplos dados en este anexo ilustran un posible método para alcanzar la protección. Otros métodos pueden ser igualmente otros válidos.

**E.2    ESTRUCTURA DE ESTE ANEXO**

Los números de las cláusulas principales en este anexo son una imagen de los números de las cláusulas del documento principal. Esto suministra una referencia fácil entre las dos partes.

Para lograr esta meta, el numeral E.3 no se usa en este anexo.

**E.3    VACÍA**

**E.4    DISEÑO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS SIPRA**

**E.4.1    Observaciones generales**

La construcción de un SIPRA, para una estructura existente, siempre debe ser comparada con otras medidas de protección contra rayos, de conformidad con esta norma y que brinde el mismo nivel de protección con costos reducidos. Para la selección de las medidas más convenientes de protección, aplicar la NTC 4552-2

El SIPRA debe ser diseñado e instalado por profesionales especializados que demuestren experiencia en diseño e instalación de los SIPRA.

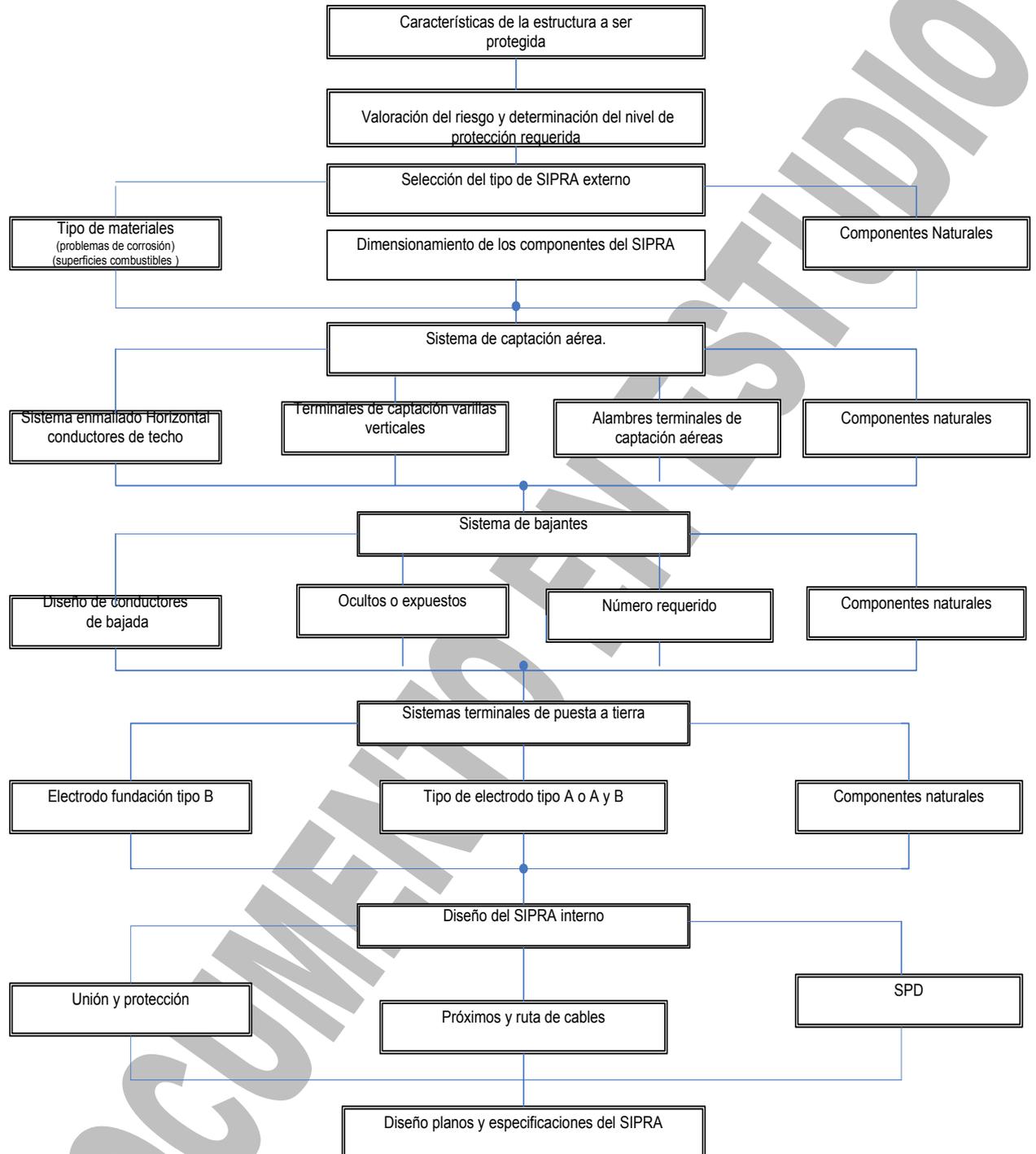
El diseñador e instalador de un SIPRA debe ser capaz de evaluar ambos efectos el eléctrico y mecánico de la descarga del rayo y estar familiarizado con los principios generales de compatibilidad electromagnética EMC.

Además, el diseñador de protección contra rayos debe ser capaz de evaluar los efectos de la corrosión y determinar, cuando sea necesario, buscar la ayuda de un especialista en el tema.

El instalador de la protección contra rayos debe ser entrenado en las técnicas adecuadas de instalación de los componentes de un SIPRA, de acuerdo con los requerimientos de esta norma y las normas nacionales que regulan el trabajo de la construcción en las estructuras.

La planeación, implementación y prueba de un SIPRA comprende un número de campos técnicos y demanda la coordinación, entre todas las partes involucradas con la estructura, para

asegurar la ejecución del nivel de protección seleccionado con el mínimo costo y el menor esfuerzo posible. Si los pasos en la Figura 1 son seguidos se puede garantizar una eficiente administración del proyecto. Las medidas para el aseguramiento de la calidad son de gran importancia, en particular para estructuras que incluyan extensas instalaciones eléctricas y electrónicas.



NOTA E.2 Las Interfaces requieren de la completa cooperación del arquitecto, ingeniero, y diseñador del sistema de protección.

Figura E.1 Diagrama de flujo del SIPRA

Las medidas de aseguramiento de la calidad se extienden desde la etapa de planeación, en la cual todos los planos deben ser aprobados, hasta la etapa de construcción del SIPRA durante la cual deben ser verificadas todas las partes esenciales del SIPRA que serán inaccesibles para inspección después que los trabajos de construcción han sido terminados. Las medidas para el aseguramiento de la calidad deben ser continuas hasta la etapa de aceptación, cuando las medidas finales sobre el SIPRA deban ser realizadas junto con su documentación y, finalmente, a través de la totalidad del tiempo de vida del SIPRA, por inspecciones periódicas de acuerdo con el programa de mantenimiento.

Para estructuras en cuyas instalaciones se le han realizado modificaciones, se debe hacer una revisión para determinar si la protección existente aún cumple con la norma. Si se encuentra que la protección no es adecuada, las mejoras deben ser implementadas sin retraso.

Se recomienda que estén de acuerdo con esta norma los materiales, las dimensiones y extensiones de las terminales de captación de rayos, bajantes, terminales de puesta a tierra, uniones y demás componentes del sistema.

## **E.4.2 Diseño del SIPRA**

### **E.4.2.1 Procedimiento de planeación**

Con anterioridad al inicio del trabajo de diseño detallado de un SIPRA, el diseñador de protección debe, cuando sea razonablemente práctico, obtener información básica con respecto a la función, diseño general, construcción y localización de la estructura.

Donde el SIPRA aún no haya sido especificado por una autoridad acreditada, asegurador o comprador, el diseñador del sistema de protección contra rayos debe determinar si o no proyectar la estructura con un SIPRA siguiendo los procedimientos para valoración de riesgos dados en la NTC4552-3.

### **E.4.2.2 Consultas**

#### **E.4.2.2.1 Información general**

En las etapas de diseño y construcción de una nueva estructura, el diseñador e instalador del SIPRA y todas las personas responsables de las instalaciones en la estructura o para regulaciones pertinentes con el uso de la estructura (por ejemplo comprador, arquitecto, constructor) deben ser consultados regularmente.

El diagrama de flujo dado en la Figura E.1 facilitará un diseño racional del SIPRA

En las etapas de diseño y construcción de un SIPRA para una estructura existente, las consultas deben ser elevadas, tanto como sea razonablemente práctico, a las personas responsables de la estructura, su uso, instalaciones y servicios de entrada (agua, energía, gas, comunicaciones).

Las consultas pueden ser acordadas a través del propietario, el contratista de la estructura o su representante. Para estructuras existentes, el diseñador del SIPRA debe suministrar planos que deben ser modificados, donde sea necesario, por el instalador.

Las consultas regulares entre las partes involucradas deben tener como resultado un efectivo SIPRA con el costo más bajo posible. Por ejemplo, la coordinación del trabajo de diseño del SIPRA con el trabajo de la construcción a menudo hará cancelar algunos conductores de unión y reducirá necesariamente la longitud de los mismos. Los costos de construcción son a menudo

reducidos substancialmente por el suministro de rutas comunes para varias instalaciones dentro de la estructura.

Las consultas son importantes a través de todas las etapas de la construcción de la estructura, como pueden ser requeridas modificaciones al SIPRA debido a cambios en el diseño de la estructura, las consultas también son necesarias para que los arreglos puedan ser aprobados y facilitar la inspección de partes del SIPRA que se conviertan en inaccesibles para un control visual después que la estructura sea terminada. En estas consultas, deben ser determinadas la ubicación de todas las conexiones entre los componentes naturales y los SIPRA. Los Arquitectos deben estar disponibles para acordar y coordinar reuniones de consulta para nuevos proyectos de construcción.

#### **E.4.2.2.2 Las partes consultoras principales**

El diseñador de la protección contra rayos debe llevar a cabo consultas técnicas con todas las partes involucradas en el diseño y construcción de la estructura incluyendo el propietario.

Deben ser definidas las áreas particulares de responsabilidad para la instalación total del SIPRA por el diseñador en conjunto con el arquitecto, contratista electricista, constructor, instalador del SIPRA (proveedor del SIPRA) y donde sea pertinente un consejero y el dueño o su representante.

Es de particular importancia la claridad en la responsabilidad de las partes involucradas en la administración del proyecto de diseño y construcción del SIPRA. Un ejemplo podría ser donde la impermeabilización de la estructura es perforada por los componentes del SIPRA para techo o por la conexión del electrodo de puesta a tierra hechos debajo la fundación de la estructura.

##### **E.4.2.2.2.1 Arquitectura**

Deben ser alcanzados acuerdos con el arquitecto en los siguientes ítems:

- a) recorrido de todos los conductores del SIPRA.
- b) materiales para los componentes del SIPRA.
- c) detalles de todos los tubos de metal, canales, rieles y elementos similares
- d) detalles de algunos equipos, aparatos, instalaciones en planta, etc. A ser instaladas sobre, dentro o cerca de la estructura que pueda requerir el movimiento de instalaciones o puedan requerir de unión con el SIPRA debido a la distancia de separación. Ejemplos de instalaciones son el sistemas de alarma, sistemas de seguridad, sistemas de telecomunicaciones internas, sistemas de procesamiento de datos y señales, circuitos de radio y T.V;
- e) el recorrido de algunos servicios enterrados pueden afectar la posición de la red de terminales de puesta a tierra y requieren ser colocados a una distancia segura del SIPRA;
- f) el área general disponible para la red de terminales de puesta a tierra;
- g) la magnitud del trabajo y la división de responsabilidades para la instalación primaria del SIPRA a la estructura. Por ejemplo, aquellos que afectan la tela de impermeabilización.

- h) materiales conductivos a ser usados en la estructura, especialmente cualquier metal continuo que pueda ser unido al SIPRA, por ejemplos postes, acero de refuerzo y servicios entrantes o salientes en metal dentro de la estructura.
- i) impacto visual del SIPRA
- j) el impacto del SIPRA sobre la estructura
- k) la localización de los puntos de conexión al acero reforzado, especialmente donde penetran las partes conductoras externas (tuberías, pantallas de cables, etc.)
- l) la conexión del SIPRA al SIPRA de edificios adyacentes

#### **E.4.2.2.2 Servicios públicos**

Si no es posible la unión de servicios entrantes directamente al SIPRA, o a través de spark gaps (vías de chispa) o SPD, se debe discutir con el operador o autoridades concernientes para determinar si hay requerimientos en conflicto.

#### **E.4.2.2.3 Autoridades de seguridad y departamento de bomberos**

Deben realizarse acuerdos con las autoridades de seguridad contra incendios en los siguientes elementos:

- La ubicación de los componentes del sistema de alarma y extinción de incendios;
- Rutas, materiales de construcción y sellado de los ductos;
- El método de protección a ser usado en el caso de una estructura con techos inflamables.

#### **E.4.2.2.4 Instaladores de antenas externas y sistemas electrónicos**

Se deben alcanzar acuerdos con los instaladores de antenas y sistemas electrónicos en los siguientes casos:

- El aislamiento o unión de soportes de antena y pantallas de cable conductoras a los SIPRA.
- La ruta de cables de antena y redes internas.
- Instalación de DPS (Dispositivos de protección contra sobretensiones)

#### **E.4.2.2.5 Constructor e instalador**

Se deben realizar acuerdos sobre los siguientes aspectos entre el constructor, instalador, y aquellos responsables de la construcción de la estructura y su equipo técnico:

- a) la forma, posición y número de accesorios primarios del SIPRA a ser suministrado por el constructor;
- b) algunos accesorios suministrados por el diseñador del SIPRA (o por el contratista o proveedor del SIPRA) a ser instalado por el constructor;

- c) la posición de los conductores del SIPRA a ser instalado debajo la estructura;
- d) si algunos componentes del SIPRA van hacer usados durante la fase de construcción, por ejemplo la red permanente de terminales de puesta a tierra podrían ser usadas para aterrizar grúas, montacargas y otros equipos metálicos durante el trabajo de construcción en el sitio.
- e) para las estructuras con armazón de acero, el número y posición de postes y la forma de instalación de las conexiones de los terminales de puesta a tierra y otros componentes del SIPRA;
- f) si son usadas cubiertas metálicas como componentes propias del SIPRA;
- g) el método de asegurar continuidad eléctrica de las partes individuales de las cubiertas y su método de conectarlos al resto de SIPRA donde las cubiertas metálicas sean apropiadas como componente del SIPRA.
- h) la naturaleza y localización de los servicios entrantes a la estructura encima o debajo de tierra incluyendo sistemas de transporte, soportes metálicos de antenas de televisión y radio, chimeneas metálicas y equipos para limpieza de ventanas.
- i) la coordinación de los sistemas de puesta a tierra del SIPRA de la estructura unidos a los servicios de comunicación y potencia;
- j) la posición y número de mástiles de banderas, cuartos a nivel de techo, por ejemplo cuartos de equipos de ascensores, ventilación, cuartos en planta de aire acondicionado y calefacción, tanques de agua y otras estructuras salientes.
- k) el tipo de construcción a ser empleado en techos y paredes con el propósito de determinar los métodos apropiados para el aseguramiento de los conductores del SIPRA, específicamente con miras al mantenimiento de la impermeabilización de la estructura.
- l) el aprovisionamiento de ductos a través de la estructura para permitir el libre paso de las bajantes del SIPRA;
- m) el suministro de conexiones de unión a las estructuras de acero, barras de refuerzo y otras partes conductoras de la estructura.
- n) la frecuencia de inspección de los componentes del LPS que se convertirán en inaccesibles, por ejemplo las varillas de acero de refuerzo encapsuladas en el concreto.
- o) la opción más conveniente de conductores metálicos tomando en cuenta la corrosión, especialmente en los puntos de contacto entre diferentes metales.
- p) accesibilidad de puntos de prueba, suministro de protección por revestimiento no metálico contra daños mecánicos o hurto, reducción de mástiles de banderas u otros objetos móviles, facilidades para inspección periódica de chimeneas.
- q) la preparación de planos incorporando los detalles y mostrando la posición de todos los conductores y componentes principales.
- r) la localización de los puntos de conexión al acero de refuerzo.

### **E.4.2.3 Requerimientos eléctricos y mecánicos**

#### **E.4.2.3.1 Diseño eléctrico**

El diseñador del SIPRA debe seleccionar el SIPRA apropiado para obtener la construcción más eficiente. Esto significa considerar el diseño arquitectónico de la estructura para determinar si se debe usar un SIPRA aislado o no aislado, o una combinación de los dos tipos de protección contra rayos.

Las pruebas de resistividad del suelo deben ser realizadas preferiblemente antes de finalizar el diseño del SIPRA y debe tomarse en cuenta las variaciones temporales de resistividad del suelo.

Durante la realización del diseño básico eléctrico del SIPRA, deben considerarse el uso de partes conductoras de la estructura como partes naturales del SIPRA para mejorar o actuar como parte esencial del SIPRA.

Es responsabilidad del diseñador del SIPRA evaluar las propiedades físicas y eléctricas de los componentes naturales del SIPRA y garantizar que ellos cumplen el mínimo de requisitos de esta norma.

El uso del metal de refuerzo, tal como el acero usado en el concreto reforzado, siendo conductores de protección contra rayos, requieren de consideraciones especiales y del conocimiento de las normas nacionales de la construcción aplicadas a las estructuras a ser protegidas. El esqueleto de acero del concreto reforzado puede ser usado como conductores del SIPRA o puede ser usado como pantalla conductora para reducir los campos electromagnéticos generados por el rayo en la estructura cuando la corriente de rayo es conducida a través de un SIPRA aislado. Este SIPRA facilita la protección, en particular para estructuras especiales con extensas instalaciones eléctricas y electrónicas.

Se requiere de una especial rigurosidad en la especificación de construcción de las bajantes con el propósito de cumplir los mínimos requerimientos para las componentes naturales dadas en el numeral 5.3.4 de NTC4552-3

#### **E.4.2.3.2 Diseño mecánico**

El diseñador de la protección contra rayos debe consultar con las personas responsables de la estructura en lo referente al diseño mecánico para ajustar su diseño eléctrico.

Son particularmente importantes las consideraciones estéticas como también la selección correcta de los materiales que limiten el riesgo de corrosión.

El tamaño mínimo de las componentes para las diferentes partes del SIPRA son listadas en la Tabla 4,5,7,8 y 9

Los materiales usados para los componentes del SIPRA son listados en la Tabla 5

NOTA E.4 Para la selección de otros componentes, tales como varillas y abrazaderas, la referencia puede ser hecha a la serie EN 50164. (UL96 – IEEE 837 ??) Estas aseguran que se han tenido en cuenta incrementos de temperatura y esfuerzos mecánicos.

Si se utilizan otras dimensiones y materiales especificados en las Tablas 5, 6, y 7, usando los parámetros eléctricos de la descarga especificados para la clase seleccionada de SIPRA dada en la Tabla 1, el diseñador de la protección contra rayos debe estimar el incremento de temperatura de los conductores bajo la condición de descarga y dimensionar los conductores de acuerdo con esto.

Cuando son preocupantes los incrementos excesivos de temperaturas en la superficie sobre la cual los componentes van a ser unidos (porque es inflamable o posee un bajo punto de fusión), o deben ser especificados grandes conductores de sección transversal o deben ser consideradas otras precauciones de seguridad, tales como el uso de montaje separados o la inserción de capas resistentes al fuego.

El diseñador del SIPRA debe identificar todas las áreas con problemas de corrosión y especificar las medidas apropiadas.

Los efectos de la corrosión sobre el SIPRA pueden ser reducidos por incrementos en el tamaño o por el uso de componentes resistentes a la corrosión, o por la toma de otras medidas de protección contra la corrosión.

El diseñador y el instalador del SIPRA debe especificar las abrazaderas y accesorios conductores que resistirán las fuerzas electrodinámicas de la corriente de rayo en los conductores y también permitir la expansión y contracción de los conductores debido al incremento de temperatura que ocurra .

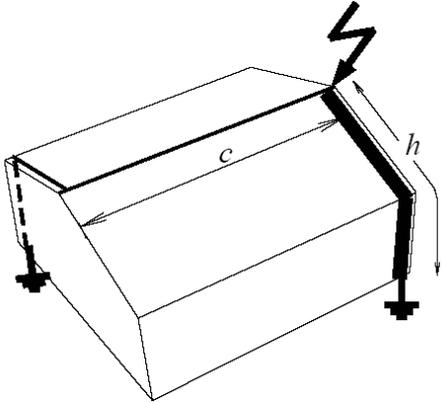
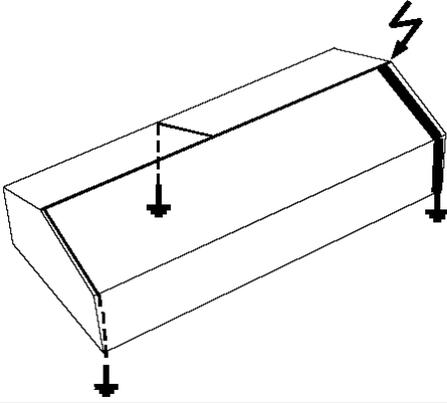
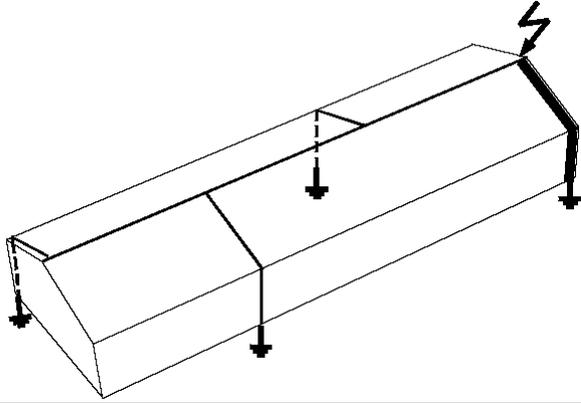
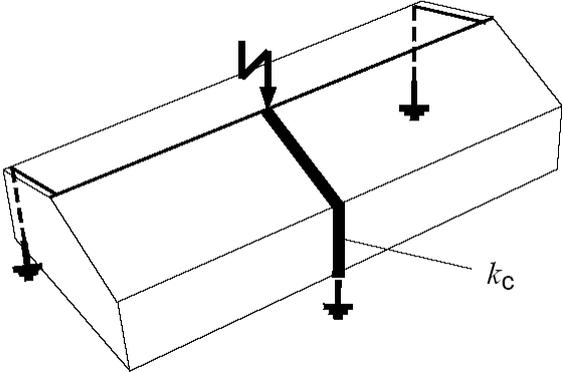
#### **E.4.2.4 Cálculos del diseño**

##### **E.4.2.4.1 Evaluación del coeficiente $k_c$**

El coeficiente de división  $k_c$  de la corriente de rayo entre las bajantes depende del número total  $n$  de bajantes y también de la posición de las bajantes, los conductores del anillo de interconexión, el tipo de sistemas de captación y del tipo de sistema de terminales de puesta a tierra (véase la Tabla C.1 y Figuras C.2 y C.3)

Para determinar el  $k_c$  en los techos cuando son instalados arreglos de puesta a tierra del Tipo A, puede ser usada la Figura E.2.

La distancia de separación necesaria depende de la caída de potencial en la ruta más corta desde el punto donde la distancia de separación va a ser considerada, hasta el electrodo de tierra o el punto de unión equipotencial más cercano.

	$\frac{c}{h} =$	0,33	0,50	1,00	2,00	
	kc	0,57	0,60	0,66	0,75	
	kc	0,47	0,52	0,62	0,73	
	kc	0,44	0,50	0,62	0,73	c Distancia desde la bajante más cercana a lo largo del lomo
	kc	0,40	0,43	0,50	0,60	h Longitud de la bajante desde el lomo hasta el siguiente punto de unión equipotencial o el sistema de puesta a tierra

	kc	0,35	0,39	0,47	0,59	<p>Los valores de kc mostrados en la tabla se refieren a los conductores bajantes representados por una línea gruesa y un punto de impacto del rayo</p>
	kc	0,31	0,35	0,45	0,58	<p>La ubicación de los conductores bajantes (a ser considerados por kc) debe ser comparada con la respectiva figura para dicha bajante</p>
	kc	0,31	0,33	0,37	0,41	<p>La relación <math>c/h</math> debe ser determinada. Si dicha relación está entre dos valores en las columnas, kc debe ser hallado mediante interpolación.</p>
	kc	0,28	0,33	0,37	0,41	<p>NOTA 1 Bajantes adicionales con distancias mayores a las ilustradas en las figuras, no tienen influencia significativa.</p>

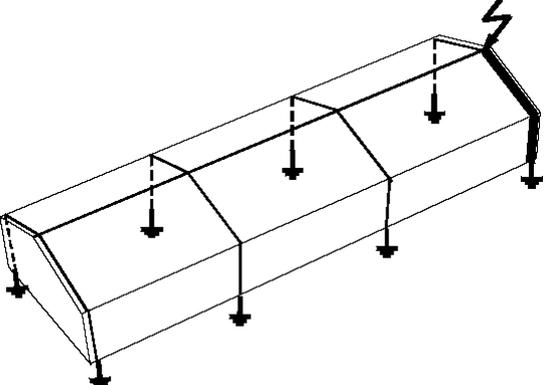
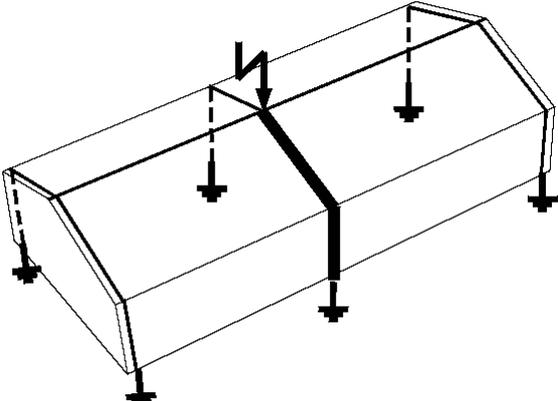
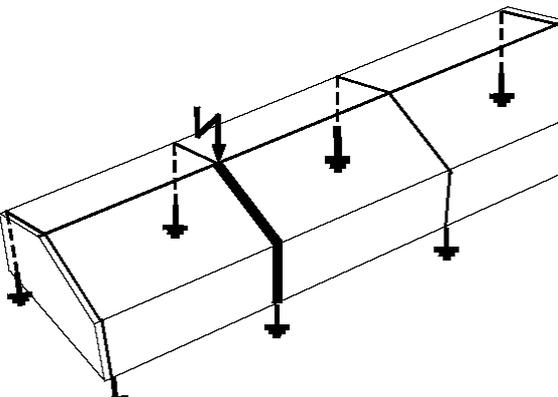
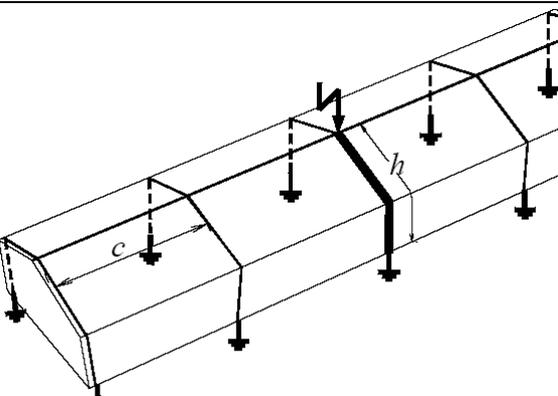
	kc	0,27	0,33	0,37	0,41	<p>NOTA 2 En el caso de interconectar anillos bajo el lomo ver figura C3</p>
	kc	0,23	0,25	0,30	0,35	
	kc	0,21	0,24	0,29	0,35	
	kc	0,20	0,23	0,29	0,35	

Figura E.2 Valores del coeficiente kc en caso de techos inclinados con terminales de captación en el lomo y un sistema de puesta a tierra Tipo B

Si el conductor tiene la misma corriente fluyendo en la totalidad de su longitud, la fórmula para la distancia de separación necesaria en aire es dada por

$$S = S_i \times k_c \times l \quad (E.1)$$

Si el conductor tiene diferentes valores de corriente fluyendo bajo su longitud debido a la división de corriente, la ecuación debe considerar las diferentes (reducidas) corrientes fluyendo en cada sección de conductor. En este caso:

$$S = k_i (k_{c1} \times l_1 + k_{c2} \times l_2 + \dots + k_{cn} \times l_n) \quad (E.2)$$

El punto de impacto, esencial para  $k_c$  y el punto donde la distancia de separación va a hacer considerada, puede ser diferente.

#### E.4.2.4.2 Estructuras con partes en forma de canto

Para reducir la probabilidad de que una persona parada bajo una construcción con forma de canto, se convierta en un camino alternativo de la corriente de rayo que fluye en el conductor de bajante, la distancia de separación,  $d$ , en metros debe satisfacer la siguiente condición:

$$d > 2,5 + S \quad (E.3)$$

en donde  $s$  es la distancia de separación en metros calculada de acuerdo con el numeral 6.3.

El valor de 2,5 es representativo de la altura de un hombre con la punta de los dedos cuando estira su mano verticalmente (véase la Figura E.3)

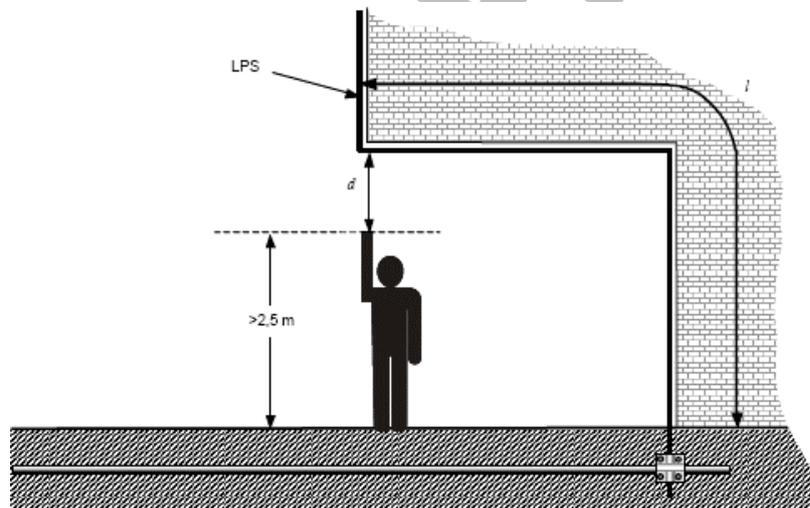


Figura E.3 Diseño del SIPRA para una estructura con una parte sobresaliente

- d distancia actual  $> s$
- s distancia de separación de acuerdo al numeral 6.3
- l longitud para evaluación de la distancia de separación  $s$

NOTA E.5 La altura de una persona con la mano levantada es tomada como 2.5 m

Figura E.3 Diseño del SIPRA para una estructura con una parte en forma de canto

Los lazos de un conductor como se muestra en la Figura 1, pueden producir grandes caídas de tensión inductiva, las cuales pueden causar descargas produciendo daños al circular a través de la estructura.

Si la condición del numeral 6.3 no se cumple, se deben realizar arreglos para enrutar directamente a través de la estructura a los puntos de reentrada, los anillos conductores de descargas para aquellas condiciones mostradas en la Figura 1.

### **E.4.3 Estructura en concreto reforzado**

#### **E.4.3.1 General**

Las estructuras industriales frecuentemente incluyen secciones de concreto reforzado que son fabricadas en el sitio. En muchos otros casos, partes de la estructura pueden consistir de unidades de concreto prefabricado o partes de acero.

El refuerzo de acero en estructuras de concreto reforzado conforme al numeral 4.3 puede ser usado como componentes naturales del SIPRA.

Tales componentes naturales deben cumplir con los requerimientos de:

- Bajantes de acuerdo al numeral 5.3.
- Redes de terminales de puesta a tierra de acuerdo al numeral 5.4.

Además, el refuerzo conductivo del concreto, cuando es usado apropiadamente, debe formar la armazón para la equipotencialización del SIPRA interno de acuerdo al numeral 6.2.

Además, el acero de la estructura reforzada, si es adecuado, puede servir como pantalla electromagnética, que ayuda en la protección de equipo eléctrico y electrónico de interferencias causada por campos electromagnéticos causados por rayos de acuerdo con la NTC 4552-4.

Si el refuerzo del concreto y algunas otras construcciones de acero de la estructura son unidos externamente e internamente para producir continuidad eléctrica conforme al numeral 4.3, se puede lograr una efectiva protección contra daños físicos.

Se asume que la corriente inyectada en las varillas de refuerzo fluye a través de un gran número de rutas paralelas. La impedancia de la malla resultante es entonces baja y, como consecuencia, la caída de tensión debida a la corriente de rayo es también baja. El campo magnético generado por la corriente en la malla de acero de refuerzo es débil debido a la baja densidad de corriente y a las rutas paralelas de corriente generando campos electromagnéticos opuestos. Las interferencias en la vecindad de los conductores eléctricos internos es reducida.

NOTA E.6 para protección contra interferencia electromagnética, véase la NTC 4552-4 y la norma IEC 61000-5-2

Cuando un cuarto esta totalmente encerrado por muros de concreto reforzado con acero, cuya continuidad eléctrica esta conforme al numeral 4.3, el campo magnético debido a la corriente de rayo que fluye a través del refuerzo en la vecindad de los muros es más baja que la que habría en un cuarto protegido con una estructura con bajantes convencionales. Debido a las bajas tensiones inducidas en los lazos de los conductores instalados dentro del cuarto, la protección contra fallas de sistemas internos puede ser fácilmente mejorada.

Después de la fase de construcción, es casi imposible determinar los esquemas de construcción del acero de refuerzo. Por tanto, los esquemas del acero de refuerzo para el

propósito de protección contra rayos deben ser muy bien documentados. Esto puede ser hecho utilizando planos, descripciones y fotografías tomadas durante la construcción.

#### E.4.3.2 Utilización del refuerzo en el concreto

Conductores de unión o platinas de tierra deben ser suministradas para proveer una conexión confiable al acero reforzado.

Armazones conductoras que por ejemplo son unidas a la estructura pueden ser usadas como conductores naturales del SIPRA y como puntos de conexión para el sistema interno de unión equipotencial.

Un ejemplo práctico es el uso de la fundación de anclaje o barras de fundación de máquinas, aparatos o alojamientos, para lograr la ecualización de potencial. La Figura E.4 ilustra el arreglo del refuerzo y las barras de unión en una estructura industrial.

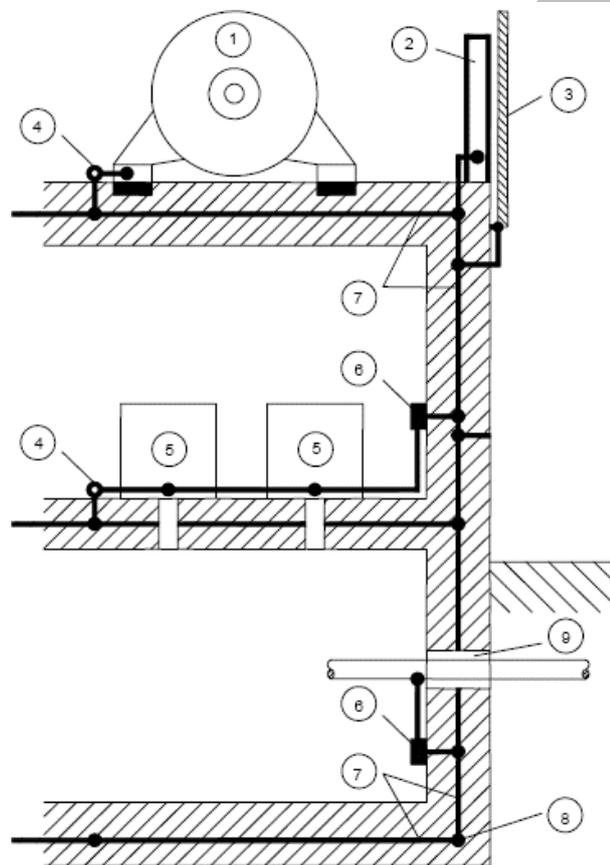


Figura E.4 Unión equipotencial de una estructura con refuerzo de acero.

- 1) equipo de potencia eléctrica.
- 2) vida de acero
- 3) cubrimiento metálico de la fachada
- 4) puntos de unión
- 5) equipos de eléctricos y electrónicos.
- 6) barraje de unión
- 7) refuerzo de acero en concreto (con malla de conductores superpuestos)
- 8) electrodo de tierra en la fundación.
- 9) entrada común para diferentes servicios

Figura E.4 Conexión equipotencial en una estructura con acero con refuerzo de acero

La localización de las terminales de unión en la estructura deben ser especificadas en una fase temprana de planeación en el diseño del SIPRA y debe ser de conocimiento del contratista de trabajos civiles.

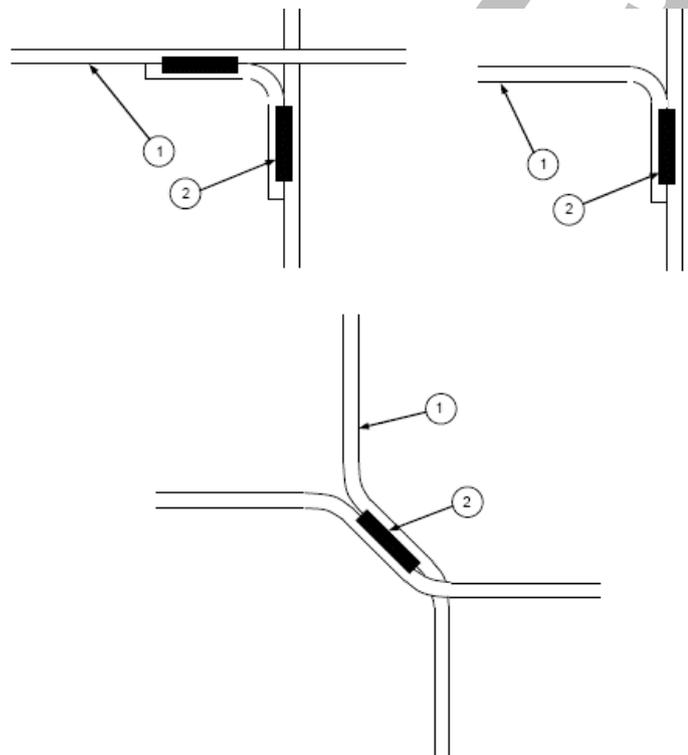
El constructor del edificio debe ser consultado para determinar si es permitida la soldadura a las varillas de refuerzo. Todo el trabajo necesario debe ser realizado e inspeccionado antes de verter el concreto (por ejemplo la planeación del SIPRA debe llevarse a cabo en conjunto con el diseño de la estructura).

#### E.4.3.3 Soldadura o sujeción a las varillas de acero de refuerzo

La continuidad de las varillas de refuerzo debe ser establecida por sujeción o soldadura.

NOTA E.7 pueden ser apropiadas Abrazadera conforme a la norma EN 50164-1

La soldadura a las varillas de refuerzo son permitidas únicamente si es aprobado por el diseñador de trabajos civiles. Las varillas de refuerzo deben ser soldadas sobre una longitud mayor a 30mm (véase la Figura E.5)



- 1) barras de refuerzo.
- 2) la soldadura debe tener una longitud mayor a 30 mm

Figura E.5 uniones de soldadura de varillas de refuerzo de concreto reforzado (si es permitido)

La conexión a los elementos externos del SIPRA deben establecerse por una varilla de refuerzo extraída del concreto en una ubicación designada o, por una varilla de conexión o, por una platina de tierra que atraviese el concreto, tal elemento deberá ser asegurado a las varillas de refuerzo.

Por razones de seguridad siempre deben ser usados dos conectores de unión (o un conductor de unión con dos abrazaderas para diferentes barras de refuerzo), cuando las uniones entre las varillas de refuerzo en el concreto y los conductores de unión son hechas por medio de sujeción, debido a que las uniones no podrán ser inspeccionadas después del vertido del concreto. Si el conductor de unión y la varilla de refuerzo son de metales diferentes, entonces el área de unión debe ser completamente sellada con una mezcla inhibidora de humedad.

La Figura E.6 muestra las abrazaderas usadas para unir las varillas de refuerzo y los conductores de cinta sólidos.

La Figura E.7 Muestra detalles para la conexión de un sistema externo a las varillas de refuerzo.

Los conductores de unión deben ser dimensionados para la proporción de la corriente de rayo que fluye hacia el punto de unión (véase la Tabla 8 y 9)

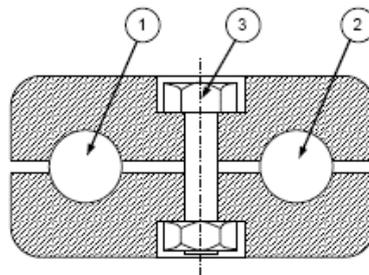


Figura E.6a Conector circular a la varilla de refuerzo

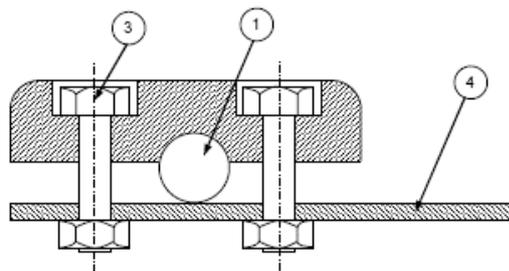


Figura E.6b Conductor de cinta sólido a la varilla de refuerzo

Figura E.6 Ejemplo de sujeción usado como unión entre varilla de refuerzo y los conductores

- 1) varilla de refuerzo
- 2) conductor circular
- 3) tornillo
- 4) conductor de cinta.(platina)

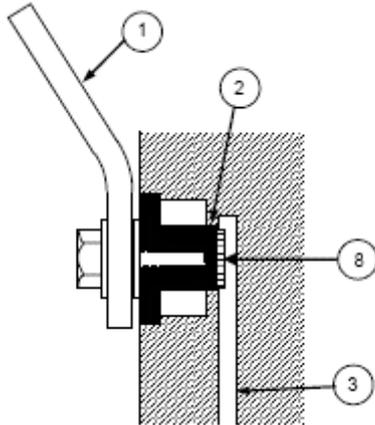


Figura E.7a.

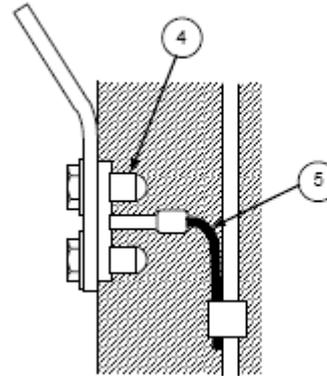


Figura E.7b.

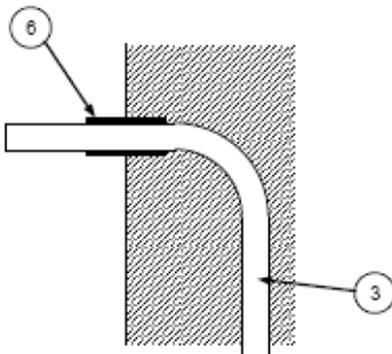


Figura E.7c.

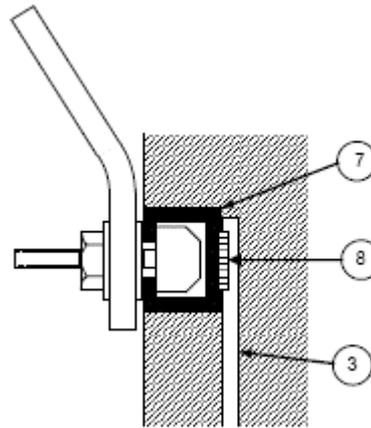


Figura E.7d.

- 1) conector de unión
- 2) soldadura de nuez a un conductor de unión de acero
- 3) conector de unión de acero
- 4) molde para un punto de unión no ferroso.
- 5) conector de unión de cobre tipo tira flexible
- 6) medida de protección contra corrosión.
- 7) C-acero (para una barra de montaje en forma de c)
- 8) Soldadura.

\* El conector de unión de acero esta conectado a muchos puntos mediante soldadura o grapas a las barra de acero de refuerzo.

NOTA E.8 la construcción mostrada en la Figura D- 7c. no es una solución generalmente aceptada en los términos de una práctica de una buena ingeniería.

Figura E.7. Ejemplos para puntos de conexión al refuerzo en una pared de concreto reforzado I

#### **E.4.3.4 Materiales**

Los siguientes materiales pueden ser usados como conductores adicionales instalados en concreto con el propósito de protección contra rayos: acero, acero templado, acero galvanizado, acero inoxidable y cobre.

El uso de varillas de acero galvanizado en concreto no es permitida en algunas ocasiones por el contratista de trabajos civiles. Esto está basado en un mal entendido. El acero de refuerzo es pasivado por el concreto, produciendo un potencial alto que lo protege de la corrosión.

Para evitar confusiones entre los diferentes tipos de varillas de acero en concreto, se recomienda que varillas redondas de un diámetro de por lo menos 8mm con superficie lisa sean usadas como conductores adicionales en contraste con la superficie rugosa de las varillas de refuerzo.

#### **E.4.3.5 Corrosión**

En aquellos casos en los cuales los conductores de acero son traídos a través de las paredes de concreto, se debe tener particular atención contra la posible corrosión química.

La medida de protección más simple contra la corrosión es el suministro de un revestimiento de goma de silicona o acabado bituminoso en la vecindad del punto de salida del muro, por ejemplo 50 mm o más dentro de la pared y 50 mm o más fuera de la pared (véase la Figura E.7c).

En el caso de conductores de cobre que son colocados a través del muro de concreto, no hay riesgo de corrosión si el conductor es sólido, son usados en el punto de unión, el recubrimiento en PVC o cables aislados (véase la Figura E.7.b) para uniones conductoras en acero inoxidable de acuerdo con la Tabla 6 y 7, no se necesita usar ninguna medida de prevención contra la corrosión.

NOTA E.9 acero galvanizado fuera del concreto en contacto con el acero de refuerzo del concreto puede, bajo ciertas circunstancias, causar daños al concreto. Cuando son usados chazo tipo nuez o piezas de acero templado, estas deben ser protegidas contra la corrosión fuera de la pared. Deben usarse arandelas. Véase la Figura E.7.a

Para más información sobre protección contra la corrosión, véase el numeral E.5.6.2.2.2

#### **E.4.3.6 Conexiones**

Las Investigaciones han mostrado que la técnica de lashing no es apropiado para conexiones que transporte corriente de rayo. Hay riesgo de explosión del cable de lashing y de daño en el concreto. Sin embargo, sobre la base de investigaciones recientes se pueden asumir que al menos cada tercer cable lashing forma un enlace eléctricamente conductivo, de manera que todas las varillas del refuerzo estén eléctricamente interconectadas. Mediciones llevas acabo en el concreto reforzado soportan esta conclusión.

Para conexiones de transporte de corriente de rayo, los métodos más preferidos son las soldaduras y las abrazaderas. Lashing como conexión es apropiada únicamente para conductores adicionales de equipotencialización y para propósitos de EMC.

Las conexiones de circuitos externos al refuerzo interconectado deben realizarse por medio de una abrazadera o por soldadura.

Soldaduras dentro del concreto deben ser de al menos 30 mm de longitud. Las varillas pasantes deben ser dobladas al menos 50 mm en paralelo antes de soldar.

Cuando las varillas soldadas necesiten ser metidas dentro del concreto, no es suficiente soldar los puntos de cruce con soldadura de unos pocos milímetros. Tales uniones frecuentemente se rompen cuando el concreto es vertido.

La Figura E.5 muestra la correcta soldadura de los conductores unidos a las varillas de refuerzo del concreto reforzado.

Donde no sea permitido unirse a las varillas de refuerzo por medio de soldaduras, debe usarse grapas o adicionarse conductores dedicados. Estos conductores adicionales pueden ser hechos de acero, acero templado, acero galvanizado o cobre. Los conductores adicionales deben conectarse a un gran número de varillas de refuerzo por lashings y sujetadores para tomar ventaja de las posibilidades de apantallamiento del acero de refuerzo

NOTA E.10 donde es permitido soldar, la soldadura convencional y la soldadura exotérmica son aceptadas junto con los métodos apropiados para soldar

#### **E.4.3.7 Bajantes**

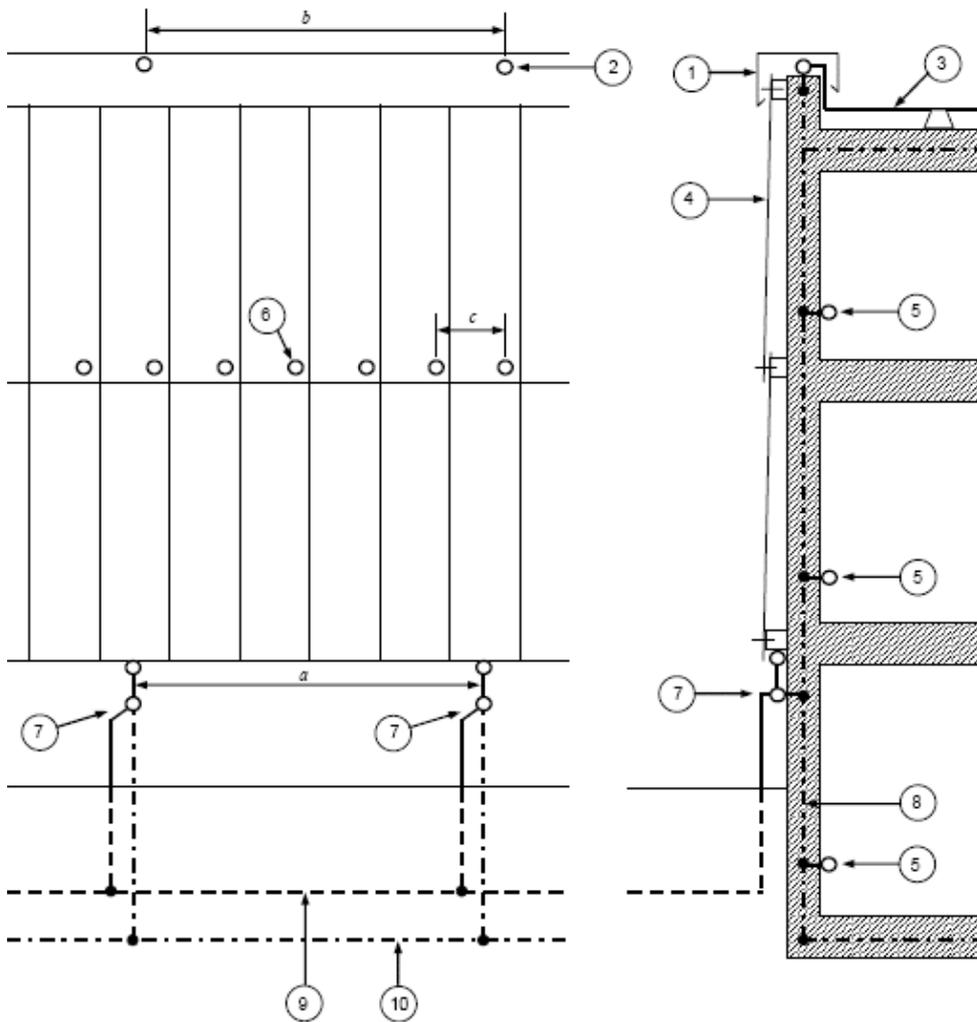
Las varillas de refuerzo de las paredes o de las columnas de concreto y el armazón estructural de acero pueden ser usados como bajantes naturales. Una Terminal de unión debe ser suministrada en el techo para facilitar la unión al sistema de terminales captoras áreas y, a menos que la fundación de concreto reforzado este siendo usada únicamente como Terminal de puesta a tierra, deben ser suministrados terminales de unión para facilitar la conexión con el sistema de terminales de puesta a tierra.

Cuando es usada una varilla en particular del refuerzo de acero como bajante, se debe tener cuidado con la ruta a tierra para asegurar que la varilla que esta localizada en la misma posición sea usada en toda la vía de bajada, de este modo se proporciona una continuidad eléctrica directa.

Cuando no se puede garantizar la continuidad vertical de las bajantes naturales, que proveen una ruta directa desde el techo hasta el piso, se deben instalar conductores adicionales al acero reforzados

Donde quiera que haya duda de la ruta más directa para las bajantes (por ejemplo para edificios existentes) debe ser adicionado un sistema de bajantes externo.

Las Figuras E.4 y E.8 muestran los detalles de construcción de componentes naturales en el SIPRA para estructuras de concreto reforzado. Véase también el numeral E.5.4.3.2 para el uso de varillas de la fundación como electrodos de puesta a tierra

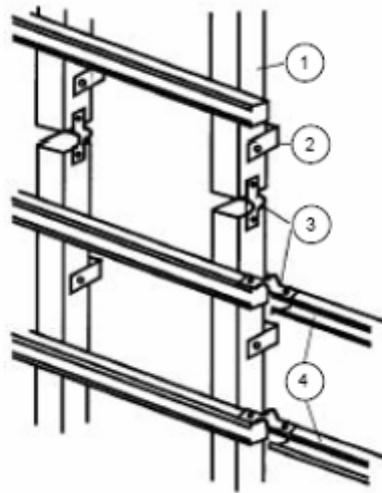


- 1) recubrimiento metálico del cabezote del techo
- 2) uniones entre platinas de fachada y Terminal de captación
- 3) terminal de captación horizontal
- 4) segmento de fachada metálica
- 5) barra de equipotencialización del SIPRA interno
- 6) unión entre platinas de fachada
- 7) unión de prueba
- 8) refuerzo de acero en concreto
- 9) electrodo de anillo de puesta a tierra Tipo B
- 10) fundación de cada electrodo

En un ejemplo aplicable puede utilizarse las siguientes dimensiones  $a = 5 \text{ m}$   $b = 5 \text{ m}$   $c = 1 \text{ m}$ .

NOTA E.11 para uniones entre platinas véase la Figura D.33

**Figure E.8a** Uso de fachadas con cubierta metálica como sistema de bajantes naturales en una estructura de refuerzo de acero en concreto



- 1) armazón vertical
- 2) fijación al muro.
- 3) conectores
- 4) armazón horizontal

Figura E.8b Conexión de soportes de fachada.

Las Bajantes internas en columnas individuales y en los muros deben conectarse por medio de sus varillas de acero del refuerzo y deben confirmar la condición de continuidad eléctrica de acuerdo al numeral 4.3

Las varillas de acero del refuerzo para elementos de concreto prefabricado individualmente y las de refuerzo de las paredes de concreto deben ser conectadas a las varillas de refuerzo de los pisos y los techos antes de que ellos sean instalados.

Existen partes conductoras continuamente dentro del refuerzo de todos los elementos de la construcción, las cuales son instaladas con el concreto en el sitio por ejemplo, paredes, columnas, escaleras, pozo de ascensores. Si los pisos son construidos de concreto fundido en el sitio, los conductores de bajantes en las columnas individuales y en las paredes deben ser interconectadas por medio de sus varillas de refuerzo para asegurar una distribución pareja de la corriente de rayo.

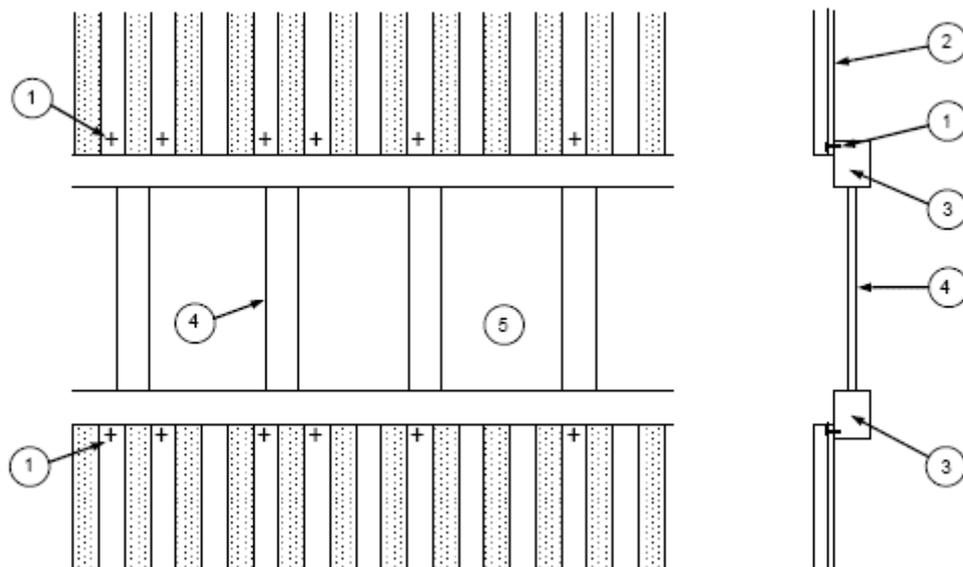
Si los pisos son construidos o prefabricados con elementos de concreto prefabricados, tales conexiones no están generalmente disponibles. Sin embargo generalmente un pequeño costo extra es posible para garantizar las uniones y terminaciones de las varillas de refuerzo de los elementos de concreto prefabricado con las varilla de refuerzo de las columnas y paredes antes de que los pisos sean instalados mediante la inserción de varilla adicionales de conexión.

Los elementos prefabricados de concreto usados como fachadas suspendidas no son efectivos para protección contra rayo por que no están provistos de conexiones. Si se va a suministrar una protección altamente efectiva para equipo instalado dentro de la estructura, tal como edificios de oficina con una gran cantidad de equipo de procesamiento de información y redes de computo, es necesario que las varilla de refuerzo de los elementos de fachada sean interconectadas y conectadas a las varillas de refuerzo de los elementos que soportan la carga

de la estructura, permitiendo así que la corriente pueda fluir a través de la superficie exterior de la estructura (véase la Figura E.4)

Si hay instaladas ventanas de manera continua en las paredes externas de la estructura, es esencial decidir si la conexión de las partes de concreto prefabricado sobre y debajo de las ventanas son hechas por medio de las columnas existentes o si deban ser interconectadas a pequeños intervalos correspondientes a los tiros de la ventana.

La integración extensiva de las partes conductoras de las paredes externas mejora el apantallamiento electromagnético del interior de la estructura. Las Figura 9 muestra la conexión de ventanas continuas al recubrimiento metálico de la fachada.



- 1) unión entre fachadas de platina y ventanas continuas.
- 2) platina metálica de fachada.
- 3) tira metálica horizontal.
- 4) tira metálica vertical.
- 5) Ventanas.

**Figura E.9 Conexión de tira continua de ventanas a fachada de cubierta metálica**

Si se usan las estructuras de acero como bajantes, cada columna de acero debe conectarse a las varillas de acero del refuerzo de la fundación del concreto por puntos de unión como se muestra en la Figura D.7 las barras de acero de unión dentro del concreto reforzado de la estructura deben interconectarse por medio de conductores verticales los cuales deben ser fabricados de acero templado propio para soldar. Las estructuras nuevas de concreto reforzado con acero deben construirse de acuerdo con el numeral 4.3

NOTA E.12 Para mas información sobre el uso del refuerzo de acero de las paredes de la estructura para propósitos de apantallamiento electromagnético véase la NTC4553-4

Cuando existan construcciones amplias y bajas tales como grandes salones, el techo esta soportado no solamente por columnas en la periferia sino también por columnas internas. Las Partes conductoras de las columnas internas deben conectarse al sistema de terminales

aéreos y también equipotencializarse al nivel del suelo, creando así bajantes internas. Un incremento de la interferencia electromagnética podrá presentarse en la vecindad de tales bajantes internas.

Las construcciones con esqueleto de acero generalmente usan techos con vigas de acero conectadas por medio de juntas aseguradas. Una vez instalados los tornillos son atornillados con la fuerza requerida para asegurar la resistencia mecánica, todas las partes de acero atornilladas pueden considerarse interconectadas eléctricamente. La delgada capa de pintura es perforada por la corriente de rayo en una descarga inicial esto forma un puente conductorio.

La conexión eléctrica puede ser mejorada puliendo la superficie de contacto de las cabezas de los tornillos y las arandelas. Un posterior mejoramiento puede ser logrado con el suministro de una soldadura de aproximadamente unos 50mm de longitud después de completar el ensamble de la estructura.

En estructuras existentes con una gran cantidad de partes conductoras dentro o sobre las paredes externas, la continuidad de las partes conductoras será establecida mediante el uso de bajantes. Esta técnica es también recomendada cuando se presenten altas demandas en los aspectos culturales del diseño arquitectónico, que deban ser mantenidas en adición a las demandas de protección contra pulsos electromagnéticos producidos por rayos (LEMP por sus siglas en inglés) .

Deben ser provistas barras de equipotencialización y deben ser interconectadas. Cada barra de equipotencialización debe conectarse a las partes conductoras de las paredes externas y del piso. Esto puede estar asegurado previamente por las barras de refuerzo horizontal a nivel de tierra y cada nivel de piso subsecuente.

Si es posible, debe suministrarse un punto de conexión al acero de refuerzo en el piso o en la pared, por lo menos tres varillas de refuerzo se deben conectar.

En grandes estructuras, las barras equipotencializadoras actúan como anillo conductor. En tales casos los puntos de conexión a las barras de refuerzo de acero deben hacerse cada 10m. Para casos en los cuales se determinen otras acciones especiales en las bases, no se requieren medidas especiales para conectar el refuerzo de la estructura al SIPRA.

#### **E.4.3.8 Equipotencialización**

Cuando son requeridos un gran número de conexiones para unión al refuerzo en diferentes pisos y hay un gran interés en lograr un ruta de baja impedancia utilizando las varillas de refuerzo de las paredes de concreto para una ecuilización de potencial y para una apantallamiento en el espacio mas interno de la estructura, pueden ser instalados anillos conductores dentro o fuera del concreto de los pisos separados. Estos conductores anillo deben interconectarse por medio de varillas verticales en intervalos no superiores de 10 m.

A este arreglo se le debe dar preferencia debida a su mayor confiabilidad, especialmente donde la magnitud de la corriente es desconocida.

También se recomienda una red de conductores tipo malla, la cual debe ser diseñada para que las conexiones transporten grandes corriente en el evento de una falla en el suministro de energía.

#### **E.4.3.9 Fundación como terminales de tierra**

Para extensas estructuras y plantas industriales la fundación es normalmente reforzada. Las varillas de refuerzo de la fundación, las placas de la fundación y las paredes externas en la región bajo la superficie del suelo de tales estructuras forman un excelente electrodo de tierra de la fundación, satisfaciendo los requerimientos del numeral 5.4.

Las varillas de refuerzo de la fundación y las paredes enterradas pueden ser usadas como tierra de fundación. Este método logra un buen sistema de puesta a tierra de costo mínimo. Además, el cerramiento metálico, conformado por el acero reforzado de la estructura, ofrece en general una buena referencia de potencial para el suministro eléctrico, instalaciones de telecomunicaciones y electrónicas de la estructura.

Adicionalmente a la interconexión de las varillas de refuerzo por la técnica de lashing con alambre, se recomienda la instalación de una malla metálica adicional para asegurar una buena unión. Esta red adicional también debe estar unida al acero de refuerzo por la técnica de lashing. Los conductores terminales para las conexiones de las bajantes externas o de los elementos de la estructura usados como bajantes y para conexión de terminales de tierra instalados externamente deben ser extraídos del concreto en puntos adecuados.

En general el refuerzo de una fundación es eléctricamente conductivo excepto en casos donde se suministren gaps entre diferentes partes de la estructura para permitir diferentes variaciones establecidas.

Los gaps entre las diferentes partes conductoras de la estructura deben ser puenteados por conductores de unión de acuerdo con la Tabla 6 usando grapas y uniones de acuerdo con el numeral 5.5.

Las varillas de refuerzo de las columnas de concreto, los pilares y paredes que mantiene una fundación deben conectarse a las varillas de refuerzo de la fundación y a las partes conductoras del techo.

La Figura D.10 muestra el diseño del SIPRA de una estructura con concreto reforzado por pilares de concreto, paredes y un techo con partes conductoras.

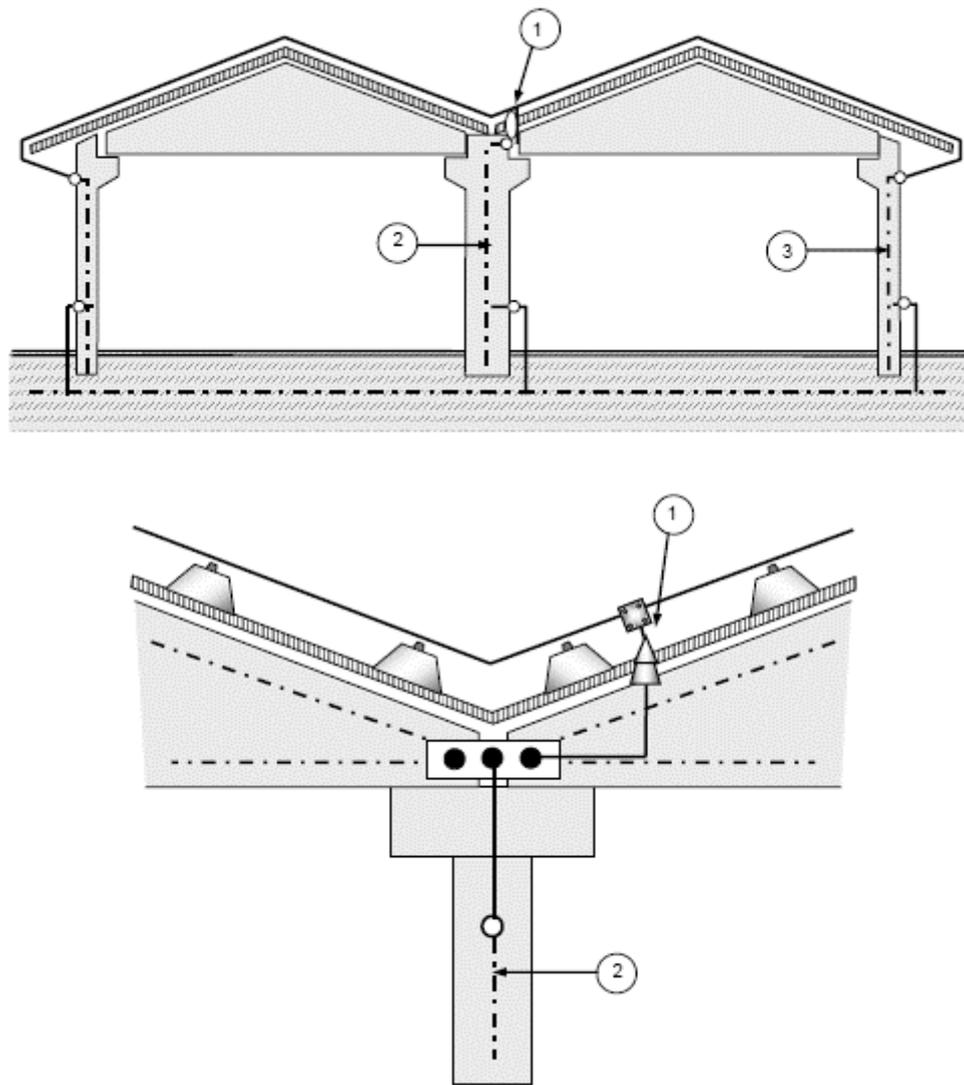


Figura E.10. Conductor bajante interno – conductores en estructura de una industria.

Cuando no es permitida la soldadura al acero reforzado, deben instalarse conductores adicionales en los pilotes, o las conexiones deben implementarse por medio de puntos verificados. Estos conductores adicionales deben ser unidos mediante la técnica de lashed al acero de refuerzo.

Después de terminar la construcción y conectados todos los servicios a la edificación por medio de un barraje de unión equipotencial, será a menudo imposible, en la practica medir la resistencia de tierra como parte del programa de mantenimiento.

Si en algunas determinadas condiciones no es posible medir la resistencia de puesta tierra de la fundación, la instalación de uno o más electrodos de tierra de referencia cercanos a la estructura, suministran un método posible para el monitoreo de los cambios en el ambiente del sistema de tierra a través de los años, realizando una medida del circuito entre el electrodo de tierra y el sistema de tierra de la fundación. Sin embargo una buena equipotencializacion es la principal ventaja del sistema de puesta a tierra de la fundación y la resistencia a tierra tiende a ser menos importante.

#### **E.4.3.10 Procedimientos de instalación**

Todos los conductores de protección contra rayos y grapas deben ser instalados por el instalador del SIPRA. El contrato debe ser logrado con el contratista civil con suficiente tiempo para asegurar el cumplimiento del cronograma de trabajo de la construcción y que no se exceda como resultado de un retraso en la instalación del SIPRA antes del vertimiento del concreto.

Durante la construcción, deben ser tomadas medidas regularmente y el instalador de la protección contra rayos debe supervisar la construcción (Véase el numeral 4.3)

#### **E.4.3.11 Partes de concreto reforzadas prefabricadas**

Si estas son usadas para el SIPRA, por ejemplo, las bajantes se usan como apantallamiento o como conductores para equalización de potencial, puntos de conexión de acuerdo a la Figura E.7 deben ser unidas a ellos para permitir la posterior interconexión del refuerzo prefabricado con el refuerzo de la estructura de una manera sencilla.

La localización y forma de conexión de los puntos debe definirse durante el diseño de las partes prefabricadas con concreto reforzado.

Los puntos de conexión deben ser localizados de manera que en la parte del concreto prefabricado una varilla de refuerzo continua corra desde un punto de unión hasta el siguiente.

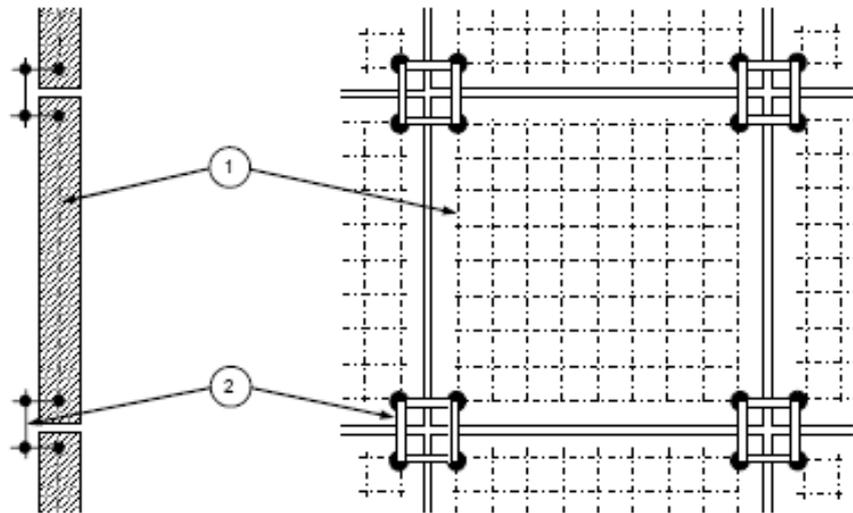
Cuando no sea posible el arreglo de las varillas de refuerzo continuas en una parte de concreto reforzado prefabricado, con varilla de acero estándar, debe ser instalado un conductor adicional y unido con la técnica de lashing al refuerzo existente.

En general, una conexión puntual y un conductor de unión es requerido en cada esquina de concreto prefabricado reforzado, como se ilustra en la Figura E.11

#### **E.4.3.12 Uniones de expansión**

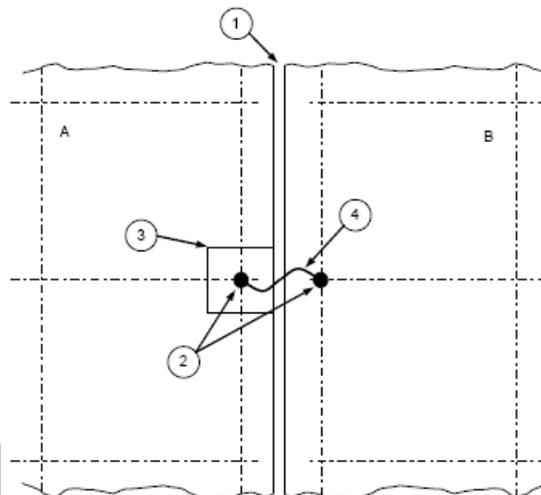
Cuando la estructura comprende un número de secciones con uniones de dilatación, con tolerancia para instalar las secciones de la estructura, y gran cantidad de equipos electrónicos van a ser instalados en el edificio, se deben suministrar conductores de unión entre el refuerzo de las diferentes secciones estructurales a través de las uniones de expansión a intervalos que no excedan una y media vez la distancia entre las bajantes especificadas en Tabla 4.

Con el fin de asegurar una equipotencialización con baja impedancia y efectivo apantallamiento de los espacios dentro de la estructura, las uniones expansivas entre las secciones de una estructura deben ser cortas (entre 1m y 1m y medio de distancia entre bajantes) por conductores flexibles o conductores de unión deslizantes dependiendo del factor requerido por proteger, como se muestra en la Figura D.11



- 1) Concreto reforzado.
- 2) Conductores de unión.

Figura E.11a Instalación de conductores de unión, partes de concreto prefabricadas reforzadas en forma de placas por medio de uniones conductoras soldadas o atornilladas.



- 1) Ranura de expansión
- 2) unión soldada
- 3) Agujero de conexión
- 4) conductor flexible de unión.

- A. Concreto reforzado Parte 1
- B. Concreto reforzado Parte 2

Figura E.11b Construcción de lazos flexibles entre dos partes de concreto reforzado puenteadas en un punto de dilatación de la estructura.

Figura E.11. Instalación de conductores de unión en estructura de concreto reforzado con unión flexible entre dos partes de concreto reforzado.

## **E.5 SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

### **E.5.1 General**

#### **E.5.1.1 SIPRA no aislado**

En la mayoría de los casos, el sipra externo puede ser unido a la estructura a ser protegida.

Cuando los efectos térmicos en el punto de impacto o sobre los conductores que transportan la corriente de rayo pueden causar daño a la estructura, o a su contenido, el espaciamiento entre los conductores del SIPRA y el material combustible debe ser de al menos 0,1 m

NOTA E.13 Casos típicos son:

- Estructura con recubrimiento combustible
- Estructura con paredes combustibles

El posicionamiento de los conductores del SIPRA externo es fundamental para el diseño del SIPRA y depende de la forma de la estructura a ser protegida, del nivel de protección requerido y del método de diseño geométrico empleado. El diseño del sistema de captación generalmente determina el diseño del sistema de bajantes, del sistema de puesta a tierra y el diseño del SIPRA interno.

Si las construcciones adyacentes tienen un SIPRA, estos deben ser conectados al sipra del edificio bajo consideración.

#### **E.5.1.2 SIPRA aislado**

Se debe usar un SIPRA externo aislado cuando el flujo de la corriente de rayo en las partes conductoras externas puedan causar daño a la estructura o a su contenido.

NOTA E.14 Puede ser conveniente el uso de un SIPRA aislado donde se tengan previstos cambios en la estructura que requieran modificaciones en el SIPRA

Los SIPRA que están conectados a los elementos conductivos estructurales y al sistema de equipotencialización solo a nivel de tierra son definidos como aislados de acuerdo con el numeral 3.3

Se pueden lograr un SIPRA aislado con la instalación de varillas captadora aéreas o por medio de mástiles adyacentes a la estructura a ser pretejida o por medio de alambres suspendidos entre los mástiles de acuerdo con la distancia de separación de acuerdo con el numeral 6.3

También se instalan SIPRAS aislados sobre estructuras con material aislante, tales como ladrillo o madera, donde la distancia de separación se conserva como se indica en el numeral 6.3, y no se hace conexión a las partes conductoras de la estructura ni al equipo instalado, con la excepción de las conexiones al sistema de puesta a tierra a nivel de tierra.

El equipo conductivo dentro de la estructura y los conductores eléctricos no deben ser instalados con distancias mas cortas que la distancia de separación definidas en 6.3 hasta los conductores del sistema de captación y a las bajantes. Todas las futuras instalaciones deben estar conformes con los requerimientos de un SIPRA aislado. Estos requerimientos deben ser informados al propietario de la estructura por medio del contratista responsable para el diseño y construcción del SIPRA.

El propietario debe informar a los futuros contratistas que vayan a realizar trabajos en la construcción acerca de esos requerimientos. El contratista responsable de tales trabajos debe informar al propietario de la estructura si no puede cumplir con tales requerimientos

Todas las partes de equipos instalados en estructuras con SIPRA aislado deben ser colocadas dentro del espacio protegido por el SIPRA y satisfacer las condiciones de distancia de separación. Si los accesorios unidos en forma directa a las paredes de la estructura están muy cerca de las partes conductoras, los conductores del SIPRA deben ser montados sobre accesorios aislados, para que la distancia entre el SIPRA y las partes conductoras mas internas excedan la distancia de separación como se define en el numeral 6.3

Los accesorios conductivos de los techos montados por fundido deben ser conectados al sistema de terminales de captación aérea del SIPRA aislado cuando no estén conectados a la unión equipotencial y no superen la distancia de separación permitida al sistema de captación pero que excedan la distancia de separación permitida hasta el barraje equipotencial.

El diseño de un SIPRA y las instrucciones de seguridad para el trabajo en la vecindad del techo debe tener en cuenta que el voltaje en tales instalaciones se incrementará a nivel del sistema del sistema de terminales aéreos en el evento de un impacto de rayo.

Debe ser instalado un SIPRA aislado sobre las estructuras con gran cantidad de partes conductoras entre lazadas, cuando se desea prevenir corriente de rayo que fluyan a través de las paredes de la estructura y el equipo instalado internamente.

Sobre estructuras compuestas de partes conductoras continuamente entrelazadas tales como construcciones con acero o concreto reforzado con acero, el SIPRA aislado debe mantener la distancia de separación a las partes conductoras de la estructura. Para lograr una separación adecuada, los conductores del SIPRA pueden ser fijados a la estructura por medio de accesorios aislados.

Debe notarse que las columnas y techos de concreto reforzado son usados a menudo en estructuras de ladrillo.

### **E.5.1.3 Arcos peligroso**

Se puede evitar la generación de arcos peligrosos entre un SIPRA y un metal, instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones

- En un SIPRA aislado por aislamiento o separación de acuerdo al numeral 6.3
- En un SIPRA no aislado por unión equipotencial de acuerdo con el numeral 6,2 o por aislamiento o separación de acuerdo con el numeral 6.3

## **E.5.2 Sistemas de terminales captación aérea**

### **E.5.2.1 General**

Este estándar no provee algún criterio para la escogencia del sistema de captación porque considera las varilla, los alambres stretched y los conductores enmallados como un equivalente.

El arreglo de un sistema de captación debe estar de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 2

### **E.5.2.2 Ubicación**

Para el diseño de un sistema de captación se deben usar los siguientes métodos, independientemente o en alguna combinación, garantizando que las zonas de protección ofrecidas por el traslape de las diferentes partes de las terminales aéreas, asegurando que la estructura este totalmente protegida de acuerdo con el numeral 5.2

- método del ángulo
- método de la esfera rodante
- Método de la malla

Todos los tres métodos se pueden usar para el diseño de un SIPRA. La elección de la clase del SIPRA depende de la evaluación práctica de su conveniencia y vulnerabilidad de la estructura a ser protegida.

El método de ubicación puede ser seleccionado por el diseñador del SIPRA, sin embargo pueden ser validas las siguientes consideraciones:

- El método de protección del ángulo es apropiado para estructuras sencillas o pequeñas partes de grandes estructuras. No es apropiado para estructuras cuyo tamaño sea mayor que el radio de la esfera rodante pertinente al nivel de protección seleccionado del SIPRA.
- El método de esfera rodante es adecuado para estructuras de forma compleja.
- método de la malla es para propósitos generales y es particularmente apropiado para la protección de superficies planas.

El método de diseño de las terminales de captación aéreas y los métodos de diseño del SIPRA usados para las diferentes partes de la estructura deben ser explícitamente establecidos en la documentación del diseño.

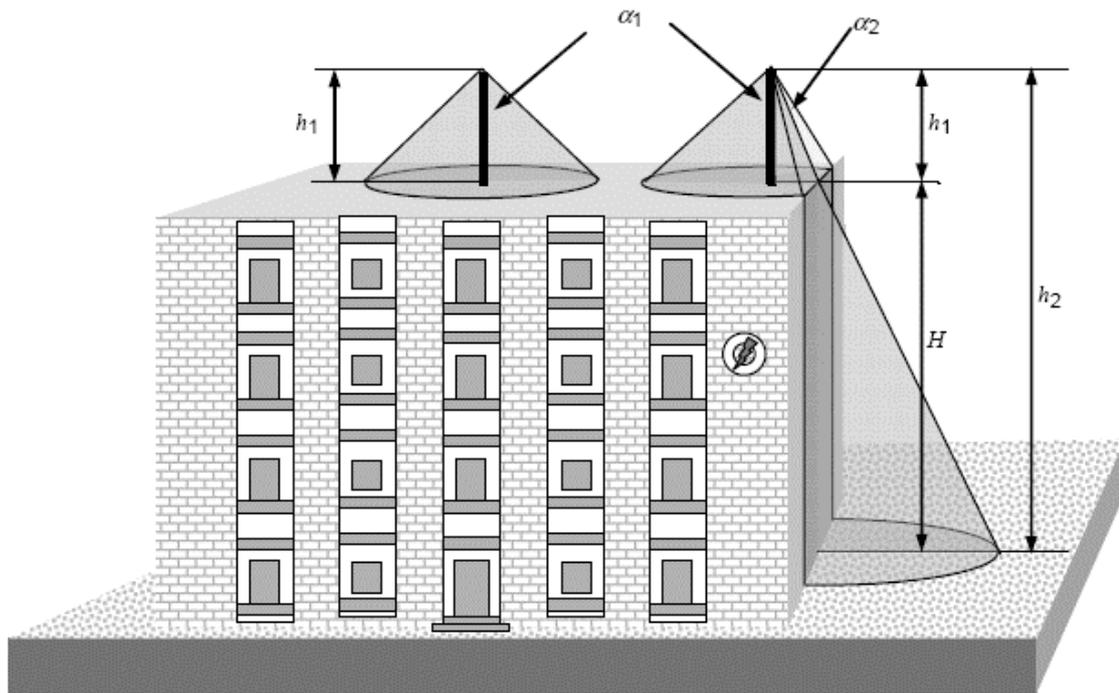
#### **E.5.2.2.1 Método del ángulo de protección**

Los conductores de terminales aéreas, varillas, mástiles y alambres deben ser ubicados de manera que todas las partes de la estructura a ser protegida estén dentro de la superficie envolvente generada por los puntos proyectados sobre los conductores de terminales aéreas en el plano de referencia, en un ángulo alfa a la vertical en todas las direcciones.

El ángulo de protección alfa debe estar de acuerdo con la Tabla 2, siendo h la altura de las terminales aéreas sobre la superficie a ser protegida.

Un punto sencillo genera un cono. Las Figuras A.1 y A.2 muestran como el espacio de protección es generado por las diferentes terminales aéreas en el SIPRA.

De acuerdo con la Tabla 2 el ángulo de protección alfa es diferente para diferentes alturas de los terminales aéreas sobre la superficie a ser protegida (véanse las Figuras A.3 y D.12).



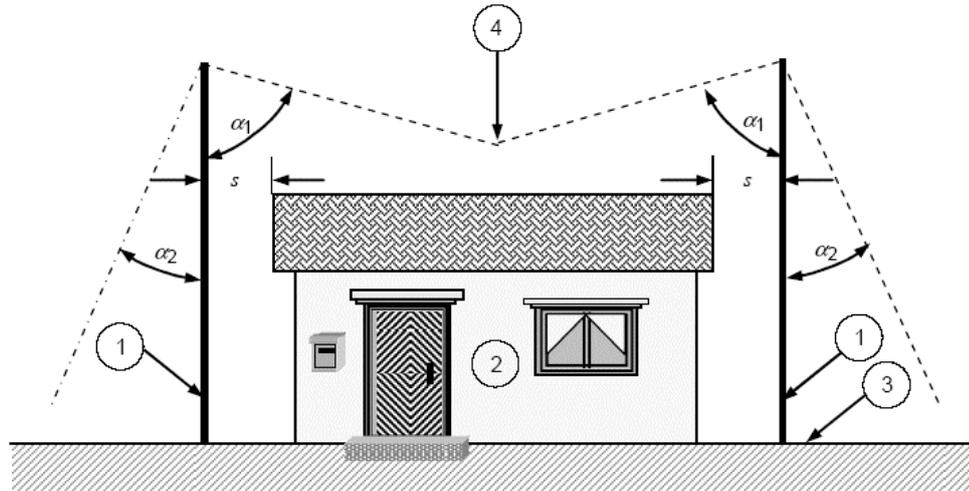
- H Altura del edificio sobre el plano de referencia de tierra
- $h_1$  altura física de la varilla de Terminal aérea
- $h_2$   $h_1 + H$ , siendo la altura de la varilla de Terminal áreas sobre la tierra
- $\alpha_1$  El ángulo de protección correspondiente a la altura de la Terminal aérea  $h=h_1$ , siendo la altura sobre la superficie del techo a ser medida (plano de referencia)
- $\alpha_2$  El ángulo correspondiente a la altura  $h_2$ ,

**Figura E.12 Método del ángulo de protección diseño de terminales de captación aérea para diferentes alturas de acuerdo a la Tabla 2**

El método de protección del ángulo tiene limitaciones geométricas y no puede ser aplicado si  $h$  es mayor que el radio de las esfera rodante,  $r$ , como se define en la Tabla 2.

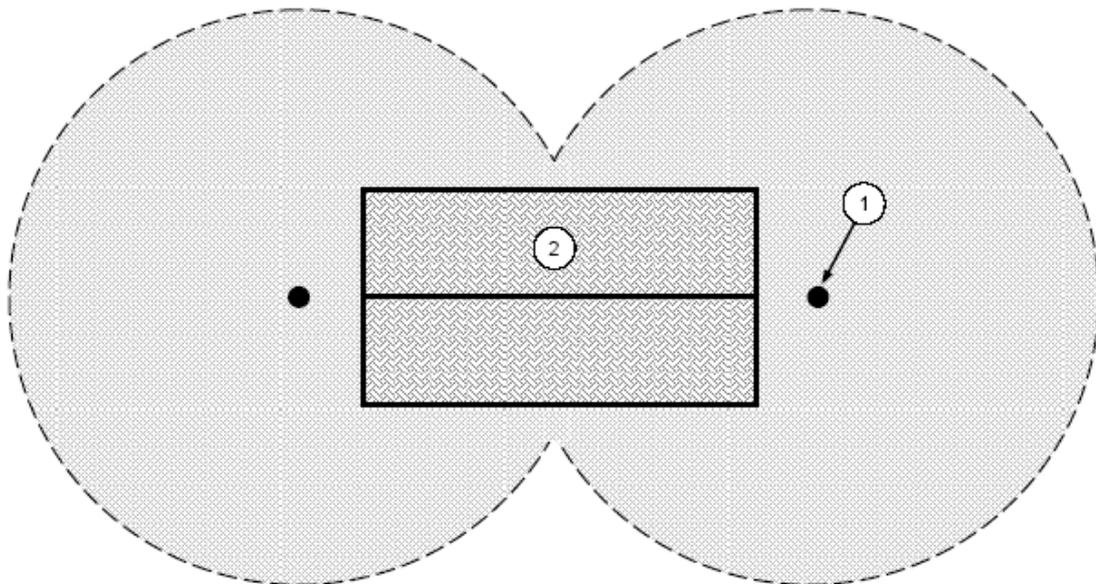
Si las estructuras sobre el techo van a ser protegidas con aletas y el volumen de protección de las aletas esta sobre el borde del edificio, las aletas deben ser localizadas entre la estructura y el borde. Si esto no es posible debe ser aplicado el método de la esfera rodante.

El diseño de terminales aéreos usando el método del ángulo para la protección es mostrado en la s Figuras D.13, D.14 para un SIPRA aislado y en las Figuras D.15 y D.16 para un SIPRA no aislado.



- 1) Mástil de Terminal aérea
- 2) Estructura Protegida
- 3) Tierra como plano de referencia
- 4) Intersección entre conos de protección
- s Distancia de separación de acuerdo al numeral 6.3
- $\alpha_1, \alpha_2$  Ángulo de protección cumpliendo la Tabla 2

Figura D.13a Proyección en un plano vertical



NOTA E.15 Los dos círculos denotan el área protegida sobre la tierra como plano de referencia.

Figura E.13b Proyección sobre un plano horizontal de referencia

Figura E.13. SIPRA aislado externo usando dos mástiles de captación área aislado diseñado de acuerdo al método del ángulo de protección

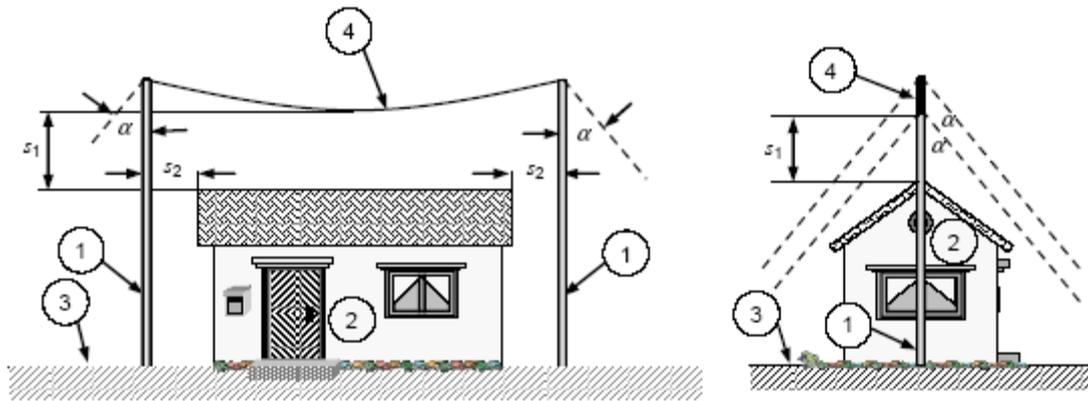


Figura E.14a. Proyección sobre el plano vertical  
conteniendo los dos mástiles

Figura E.14b. Proyección sobre el plano vertical  
perpendicular al plano de los mástiles

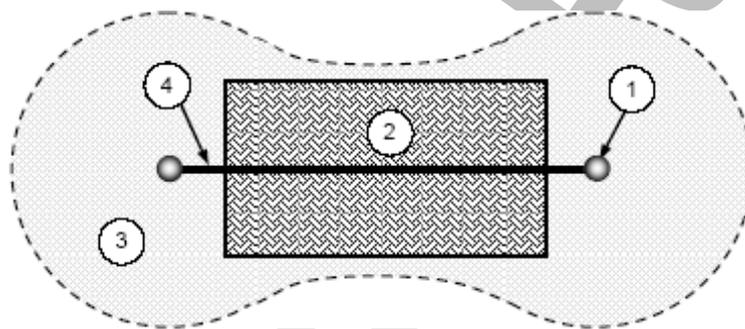


Figura E.14c. Proyección sobre el plano de referencia horizontal

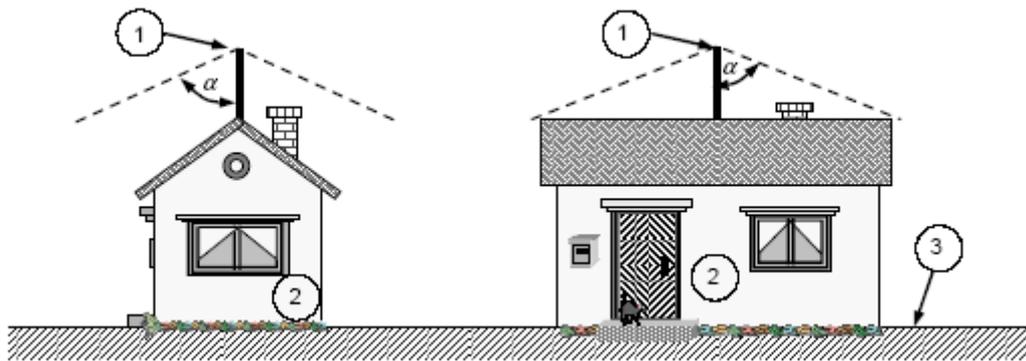
- 1) Mástil
- 2) Estructura Protegida
- 3) Área protegida sobre plano de referencia
- 4) Cable horizontal aérea

$s_1, s_2$  Separación de distancias de acuerdo al numeral 6.3

$\alpha$  Ángulo de protección de acuerdo a Tabla 2

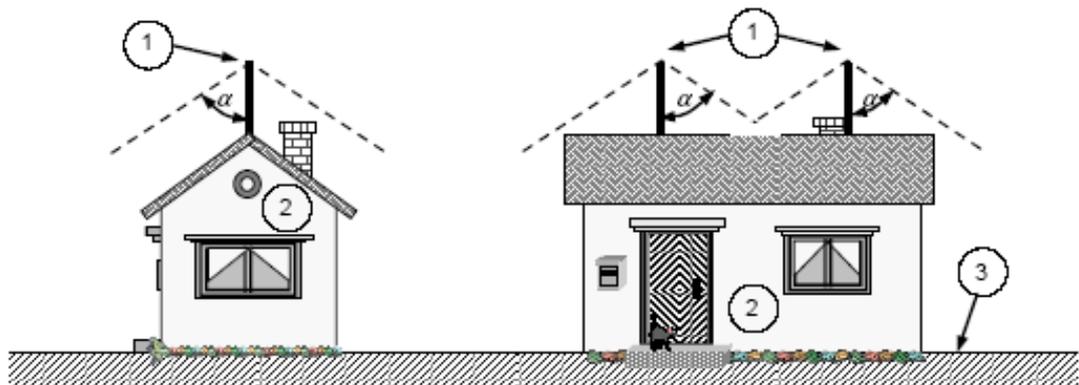
NOTA E.16 El sistema de terminales aéreas está diseñada de acuerdo con el método de ángulo de protección para terminales aéreas. La totalidad de la estructura debe estar bajo el volumen protegido.

**Figura E.14. SIPRA externo aislado usando dos mástiles de terminales aéreas aislados interconectados por alambres horizontales con catenaria**



- 1) Varilla de Terminal aéreas
- 2) Estructura protegida
- 3) Plano de referencia asumido
- $\alpha$  Ángulo de protección cumpliendo con la Tabla 2

Figura E.15a. Ejemplo del uso de una varilla de Terminal aérea

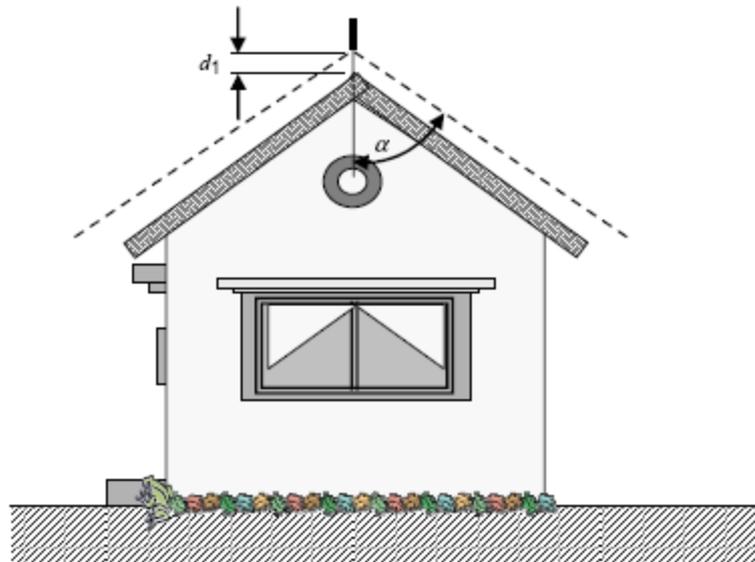


- 1) Varilla de Terminal aéreas
- 2) Estructura protegida
- 3) Plano de referencia asumido
- $\alpha$  Ángulo de protección cumpliendo con la Tabla 2

Figura E.15.b Ejemplo del uso de una varilla de Terminal aérea

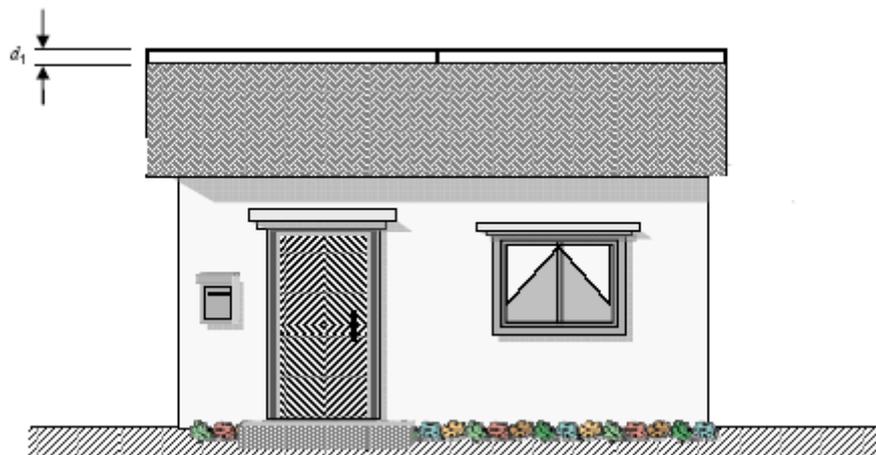
NOTA E.17 La totalidad de la estructura debe estar bajo los volúmenes protegidos por las varilla de terminales aéreas.

Figura E.15 Ejemplo del diseño de terminales aéreas de un SIPRA no aislado mediante varillas



- $\alpha$  Ángulo de protección cumpliendo con la Tabla 2
- $d_1$  Distancia desde el techo hasta el alambre horizontal

**Figura E.16.a . Proyección sobre el plano vertical al plano que contiene el conductor**



- $\alpha$  ángulo de protección cumpliendo con la Tabla 2

NOTA E.18 La totalidad de la estructura debe estar dentro del volumen protegido.

**Figura E.16b. Proyección sobre el plano vertical conteniendo el conductor**

**Figura E.16. Ejemplo del diseño de una terminal aérea de un SIPRA no asilado por medio de un alambre horizontal de acuerdo al método del ángulo de protección para terminales aéreas**

Si la superficie sobre la cual está instalado el sistema de terminales aéreas es inclinado, el eje del cono que forma la zona protegida no es necesariamente la varilla de captación, pero es la perpendicular a la superficie sobre la cual está instalada la varilla; con la cima del cono coincidente con la cima de la varilla de Terminal (véase la Figura E.17)

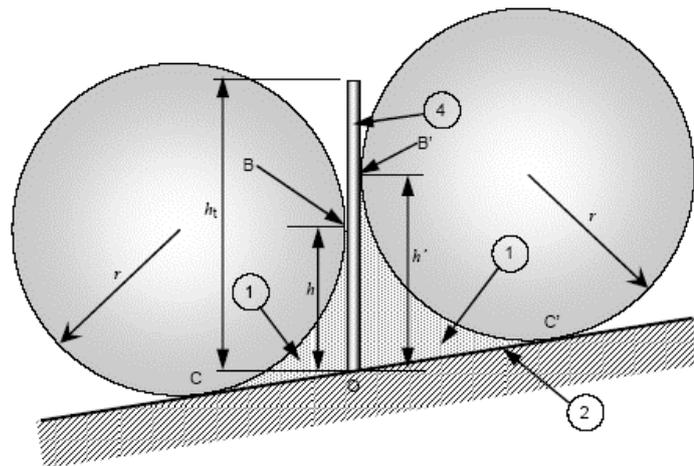


Figura E.17a. Volumen protegido de un mástil sobre una superficie inclinada usando el método de la esfera rodante ( $h_t > r$ )

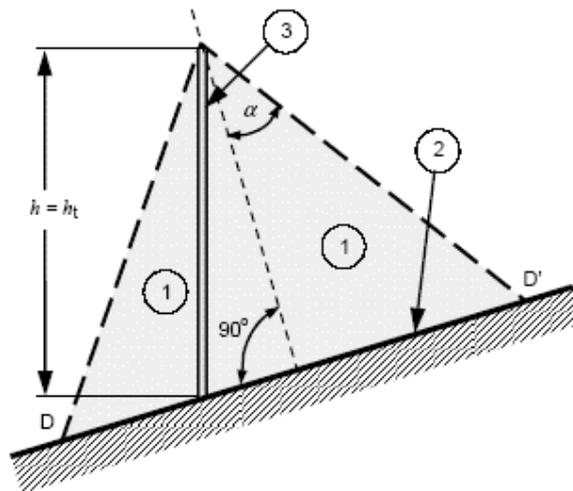


Figura E.17b. Volumen protegido de una varilla Terminal sobre una superficie inclinada usando el método del ángulo

- 1) Volumen protegido
  - 2) Plano de referencia
  - 3) Varilla de terminal aérea
  - 4) Mástil
- $r$  Radio de la esfera rodante de acuerdo a la Tabla 2
- $h, h'$  Alturas relevantes de las terminales aéreas de acuerdo a la Tabla 2
- $h_t$  Altura física del mástil sobre el plano de referencia
- $\alpha$  Angulo de protección
- B, C, B', C' Puntos que tocan con la esfera rodante
- C, C', D, D' Limite del área protegida

NOTA E.19 Las altura  $h$  y  $h'$  deben ser menores que  $h_t$ . Dos valores de  $h$ , por ejemplo.  $h$  y  $h'$  son aplicables sobre un plano de referencia en la pendiente.

Figura E.17. Volumen protegido por una varilla Terminal o un mástil sobre una superficie inclinada

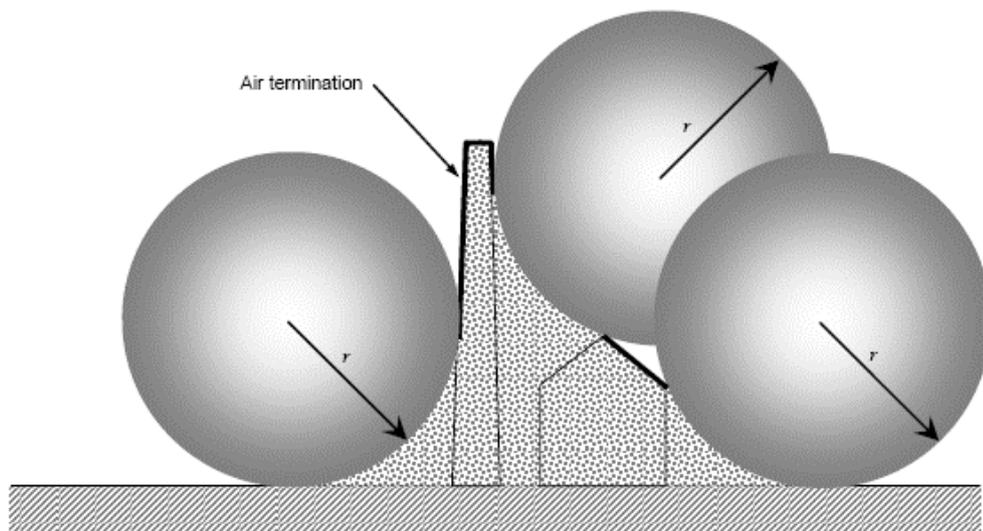
### E.5.2.2.2 Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante debe ser usado para identificar el espacio protegido de las partes y áreas de la estructura cuando la Tabla 2 excluye el uso del método del ángulo de protección.

Aplicando este método, el posicionamiento de terminales aéreas es adecuada si no hay un punto de contacto entre el volumen a ser protegido con la esfera de radio  $r$ , rodando sobre la tierra, alrededor y sobre la estructura en todas las direcciones posibles. Por consiguiente, la esfera debe tocar únicamente la tierra y o el sistema de terminales aéreas.

El radio  $r$  de la esfera rodante depende de la clase de SIPRA (véase la Tabla 2).

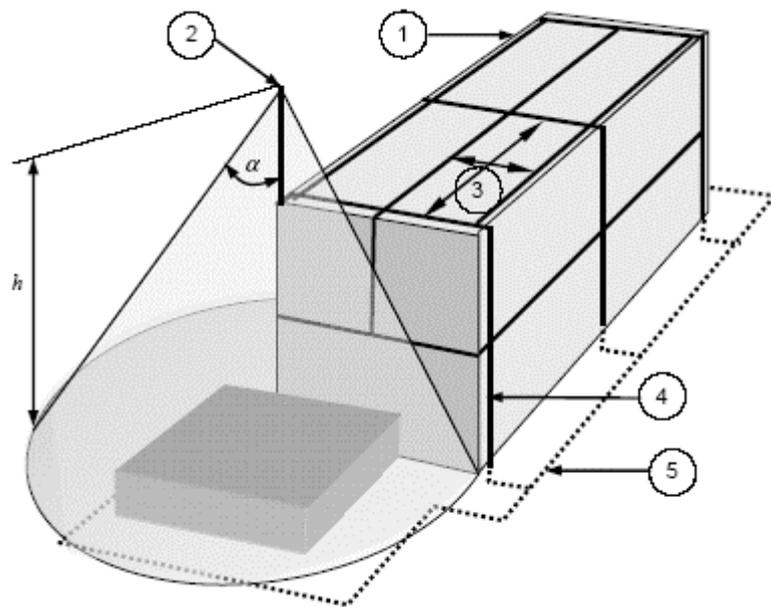
Figuras E.18 y E.19 muestran la aplicación del método de la esfera rodante para diferentes estructuras. La esfera de radio  $r$  es rodada alrededor y sobre toda la estructura hasta que encuentre el plano de tierra o alguna estructura permanente o un objeto en contacto con el plano de tierra que sea capaz de actuar como un conductor de rayo. Un punto de impacto se puede presentar donde la esfera rodante toca la estructura por tanto es requerido un conductor de terminal aérea en tales puntos de protección.



$r$  radio de la esfera rodante de acuerdo con la Tabla 2.

NOTA E.20 Las terminales del SIPRA son instalados sobre todos los puntos y segmentos que estén en contacto con la esfera rodante, cuyo radio cumple con el nivel de protección seleccionado, excepto para la parte mas baja de la estructura de acuerdo con el numeral 5.2.3

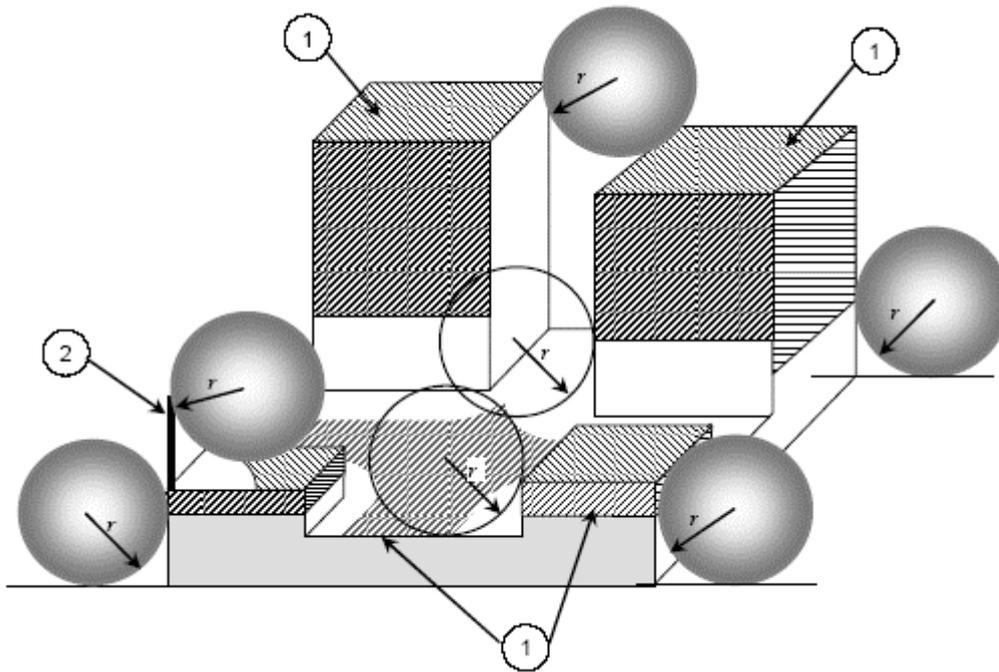
Figura E.18a. Diseño de un terminal aéreo de un SIPRA de acuerdo con el método de la esfera rodante



- 1) Conductor de Terminal aéreo
- 2) Varilla terminal
- 3) Tamaño de la malla
- 4) Bajante
- 5) Sistema de puesta a tierra con anillo conductor
- h Altura de los terminales sobre el nivel de tierra
- $\alpha$  . Angulo de protección

Figura E.18b. Arreglo General de los elementos de terminales aéreos

Figura E.18. Diseño de un Terminal aéreo de un SIPRA de acuerdo con el método de la esfera rodante, el método de ángulo de protección, el método de la malla y el arreglo general de los elementos de terminales aéreos



- 1) áreas sombreadas, son expuestas a interceptación de descargas y requieren de protección de acuerdo a la Tabla 2
  - 2) Mástil sobre la estructura
- r Radio de la esfera rodante de acuerdo a la Tabla 2

NOTA E.21 es requerida la protección contra descargas laterales de acuerdo con el numeral 5.2.3 y A.2.

**Figura E.19. Diseño de una red de conductores de terminales aérea de un SIPRA sobre una estructura con forma complicada**

Cuando el método de la esfera rodante es aplicado a los planos de la estructura, la estructura debe ser considerada desde todas las direcciones para asegurar que no sobresalgan partes a una zona desprotegida (un punto puede estar sobre asegurado solo si se consideran los planos frontal, lateral y de planta).

El espacio de protección generado por un conductor de SIPRA es el volumen no penetrado por la esfera rodante cuando esta en contacto con el conductor y aplicado a la estructura.

La Figura E.18 muestra la protección ofrecida por el sistema de terminales aéreas de un SIPRA de acuerdo con el método de malla, el método de esfera rodante y el método de ángulo de protección con un arreglo general de elementos de terminales aéreas.

En el caso de que estén ubicados paralelamente dos conductores de Terminal aérea del SIPRA sobre el plano de referencia horizontal en la Figura E.20, La distancia de penetración  $p$  de la esfera rodante bajo el nivel de los conductores en el espacio entre los conductores puede ser calculado como:

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (D.4)$$

La distancia de penetración  $p$  debe ser menor que  $h_t$  menos la altura de los objetos a ser protegidos, véase el motor en la Figura E.20

- 1) Alambres horizontales
  - 2) Plano de referencia
  - 3) Espacio protegido por los dos alambres horizontales y paralelos aéreos o por dos varillas de terminales aéreas.
- $h_t$  Altura física de las varillas de terminales aéreas sobre el plano de referencia
- $p$  Distancia de penetración de la esfera rodante
- $h$  Altura de las terminales aéreas de acuerdo con la Tabla 2
- $r$  Radio de la esfera rodante
- $d$  Distancia de separación de dos alambres horizontales o dos varillas

NOTA E.22 La distancia de penetración  $p$  de la esfera rodante debe ser menor que  $h_t$  menos la mayor altura de los objetos a ser protegidos para así proteger los objetos en el espacio entre las terminales .

**Figura E.20. Espacio protegido por dos alambres horizontales paralelos de terminales aéreas o dos varillas terminales aéreas ( $r > h_t$ )**

El ejemplo mostrado en la Figura E.20 también es válida para tres o cuatro varillas de captación aérea, por ejemplo, cuatro varillas verticales son ubicadas en las esquinas de un cuadrado a la misma altura  $h$ , en este caso,  $d$  en la Figura D.20 corresponde a las diagonales del cuadrado formado por las 4 varillas

NOTA E.23 Desde mediados de los 30, se conoce que el radio de la esfera rodante esta correlacionado con el valor pico de la corriente en la descarga que golpea la estructura:  $r = 10^{0,65}$

Los puntos que serán golpeados por la descarga pueden ser determinados usando el método de la esfera rodante. El método de la esfera rodante puede también determinar la probabilidad de ocurrencia de un impacto a cada punto de la construcción.

La Figura E.21 muestra un edificio sobre el cual la esfera rodante rueda. La línea punteada describe la ruta del centro de la esfera rodante. Esto es también la localización geométrica del líder descendente, desde la cual la descarga final sucede. Todas estas descargas situadas sobre el camino desde el centro de la esfera rodante se descargarán al punto más cercano del edificio. Alrededor de los bordes del techo hay un camino de un cuarto de círculo con posiciones posibles de la punta del líder descendente de la punta el cual descargará en el borde del edificio. Esto muestra que una porción considerable de las descargas ocurrirán en el borde del edificio, algunas en las paredes y algunas en la superficie del techo.

r Radio de la esfera rodante de acuerdo a la Tabla 2

**Figura E.21a – Vista lateral**

r Radio de la esfera rodante de acuerdo a la Tabla 2

**Figura E.21b – Vista de planta**

**Figura E.21. Puntos en los cuales el rayo impactará el edificio**

### E.5.2.2.3 Método Malla

Para el propósito de protección de superficies planas, se considerada una malla para proteger toda la superficie si las siguientes condiciones se cumplen totalmente:

- a) como se menciona en el Anexo X, los terminales aéreos son ubicados sobre
  - las líneas de borde del techo.
  - salientes del techo
  - líneas del lomo del techo, si la pendiente excede 1/10
  - las superficies laterales de la estructura superiores a 60 m, a niveles mayores que 80 % de la altura de la estructura.
- b) Las dimensiones de la malla de la red de terminales aéreos no son mayores que los valores dados en la Tabla 2
- c) La red de terminales aéreas esta cumpliendo como un camino por el cual la corriente de rayo siempre encontrara por lo menos dos rutas metálicas a tierra y no hay instalaciones sobresalientes al volumen protegido por el sistema de terminales aéreos que no sean metálicas;

NOTA E.24 Un gran número de conductores de bajada resulta en la reducción de la distancia de separación y reduce el campo electromagnético dentro del edificio (véase el numeral 5.3)

- d) Los conductores de terminales aéreos deberán cumplir con rutas lo más directas y cortas posibles. Algunos ejemplos de un SIPRA no asilado usando el método de la malla para terminales aéreo son mostrados en la Figura E.22.a para una estructura de

techo plano y la Figura D.22.b para un techo inclinado. La Figura E.22.c muestra un ejemplo de un SIPRA sobre un edificio industrial. La Figura E.22d muestra un ejemplo de un SIPRA de conductores ocultos.

**DOCUMENTO EN ESTUDIO**

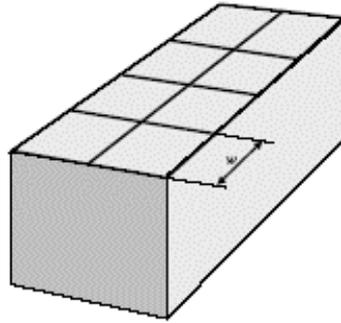
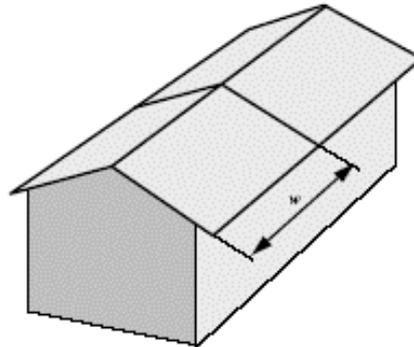


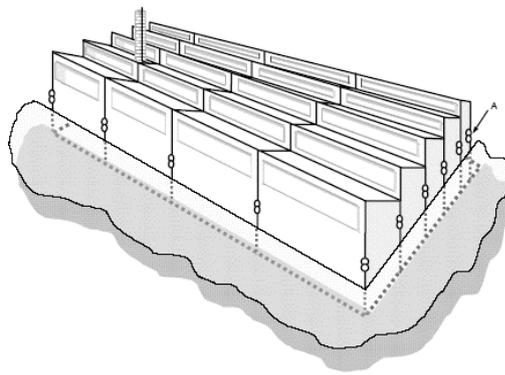
Figura E.22a. SIPRA de terminales aéreas sobre un techo plano



w Tamaño de la Malla

NOTA E.25 El tamaño de la malla debe cumplir con la Tabla 2.

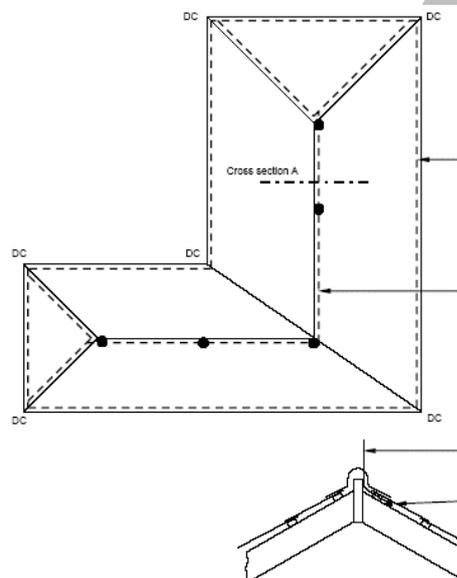
Figura E.22b. SIPRA de terminales aéreas sobre una estructura de techo inclinado



A Punto de prueba

NOTA E.26 Todas las dimensiones deben cumplir con el nivel de protección seleccionado de acuerdo con las Tablas 1 y 2.

Figura E..22c. Ejemplo de un SIPRA sobre una estructura de techo tipo cobertizo



Conductor, o cinta, varilla o  
Canal metálica  
Conductor fijado en el lomo  
Bajo la teja  
Ver detalle  
Terminales verticales o  
Platina de impacto  
Conductor horizontal

---

Conductor escondido



DC

Terminales verticales (varilla vertical desnuda) a intervalos cortos, cumpliendo con el método del ángulo de protección o de la esfera rodante

Conductor de Bajada

Figura E.22d. Terminales aéreas y conductor escondido en edificios menores a 20 m de altura, con techos inclinados

Figura E.22. Ejemplo de diseño de terminales aéreas para un SIPRA no aislado de acuerdo con el método de la malla para terminales aéreas

### **E.5.2.3 Terminales aérea contra rayos laterales en estructuras altas**

En estructuras con altura superior a 120 m, el 20 % más alto de las superficies laterales debe ser equipado con terminales aéreas.

NOTA E.28 Si las partes sensibles, por ejemplo equipo electrónico están presentes fuera de las paredes, en la parte más alta del edificio, ellos deben ser protegidos por medidas especiales de terminales aéreas, tales como terminales horizontales, mallas conductoras o su equivalente.

### **E.5.2.4 Construcción**

#### **E.5.2.4.1 Información General**

La temperatura máxima permisible para un conductor en su sección transversal no debe exceder los valores de la Tabla 6.

Un techo o muro construido de material combustible debe estar protegido de los efectos peligrosos de calentamiento producidos por la corriente de rayo en los conductores del SIPRA mediante el uso de una o más de las siguientes medidas:

- Reducción de la temperatura de los conductores por incremento de la sección transversal
- Incremento de las distancias entre los conductores y la cubierta del techo véase también el numeral 5.2.4
- Insertando una capa de protección entre los conductores y el material inflamable

NOTA D.29 Las investigaciones han mostrado que es ventajoso para las terminales aéreas tener una punta redondeada

#### **E.5.2.4.2 Terminales no aisladas**

Los conductores de terminales aéreas y las bajantes deben ser interconectados por medio de conductores a nivel del techo para suministrar una suficiente distribución de corriente sobre las bajantes.

Los conductores sobre el techo y las conexiones de las varillas de las terminales aéreas pueden ser fijadas al techo usando accesorios espaciados conductoras o no conductoras. Los conductores también pueden ser colocados sobre la superficie de un muro si esta hecho de material no combustible.

Centros de aseguramiento recomendado para estos conductores se muestra en la Tabla D.1

**Tabla E.1 Centro de aseguramiento sugerido**

<b>Arreglo</b>	<b>Centro de aseguramiento para conductores de cinta y trenzados mm</b>	<b>Centro de aseguramiento para conductores sólidos cilíndricos mm</b>
Conductores horizontales sobre superficies horizontales	500	1000
Conductores horizontales sobre superficies verticales	500	1000
Conductores verticales desde tierra hasta 20 m	1000	1000
Conductores verticales desde 20 m en adelante	500	1000
NOTA E.29 Esta tabla no aplica para aseguramientos internos los cuales requieren especial consideración.		
NOTA E.30 Aseguramiento de las condiciones ambientales (por ejemplo carga del viento) deben ser tenidos en cuenta y centros de aseguramiento diferentes a los recomendados pueden ser necesarios.		

En pequeñas casas y estructuras similares con techos de dos aguas, debe ser instalado un conductor en el lomo del techo. Si la estructura esta completamente dentro del área protegida suministrada por el conductor de techo, al menos dos conductores de bajada deben ser instalados en los bordes opuestos de las esquinas de la estructura.

NOTA E.30 la distancia entre los dos conductores de bajada medida a lo largo del perímetro de la estructura no deberá exceder las distancias de la Tabla 4

Las canales en el borde del techo pueden ser utilizadas como conductores naturales si ellas están conforme al numeral 5.2.5.

Figuras E.23.a, E.23b y E.23c describe un ejemplo de un arreglo de conductores sobre el techo y las bajantes para una estructura de techo inclinado.

**Figura E.23a** Instalación de un Terminal aéreo sobre el lomo de un techo inclinado y un conductor de bajante del techo

**Figura E.23b** Instalación de una varilla terminal aérea para protección de la chimenea utilizando el método de diseño del ángulo de protección

**Figura E.23c** Instalación de una bajante con conexión a la canal

**Figura E.23d** Instalación de una unión de un punto de prueba en una bajante y unión a la tubería de desagüe

Ejemplo de dimensiones adecuadas :

- a) 1 m
- b) 0,15 m ( no es obligatorio)
- c) 1 m
- d) tan cerca del borde como sea posible
- e) 0,2 m
- f) 0,3 m
- g) 1 m
- h) 0,05 m
- i) 0,3 m
- j) 1,5 m
- k) 0,5 m
- $\alpha$  Angulo de protección de acuerdo con la Tabla2

**Figura E.23.** Algunos ejemplos de los detalles de un SIPRA sobre una estructura con techo de tejas inclinado

En el caso de estructuras largas de acuerdo a la Tabla 4 se deben conectar conductores adicionales a los conductores de terminales aéreas montadas sobre el filo superior del techo.

En edificios con salientes largas, el conductor del lomo del techo debe ser extendido hasta el final del mismo. En el filo del alerón del techo un conductor debe ser conectado desde el conductor del lomo del techo hasta las bajantes.

Tanto como sea práctico, los conductores de terminales aéreas, los conductores de conexión y las bajantes deben ser instalados en una ruta recta. Sobre techos no conductivos, el conductor puede ser localizado bajo, o preferiblemente sobre, las tejas del techo. Aunque el montaje bajo las tejas tiene la ventaja de la simplicidad y tiene un menor riesgo de corrosión, es mejor donde se disponga de métodos adecuados de fijación, instalarlo a lo largo y sobre las tejas (por ejemplo externamente), para reducir el riesgo de daño de las tejas en el caso de una descarga directa sobre el conductor. Instalar el conductor sobre las tejas facilita la inspección. Los conductores localizados bajo las tejas deberán preferiblemente ser suministrados con finales verticales cortas sobresalientes sobre el nivel del techo y espaciados por no más de 10 m. También pueden ser usadas platinas metálicas apropiadas expuestas y espaciadas no más de 5 m (véase la Figura D.20.d)

En estructuras con techos planos, los conductores perimetrales deben ser instalados tan cerca como sea práctico a los bordes más externos del techo.

Cuando la superficie del techo excede el tamaño de la malla estipulada en la Tabla 2, deben instalarse conductores adicionales de terminales aéreas.

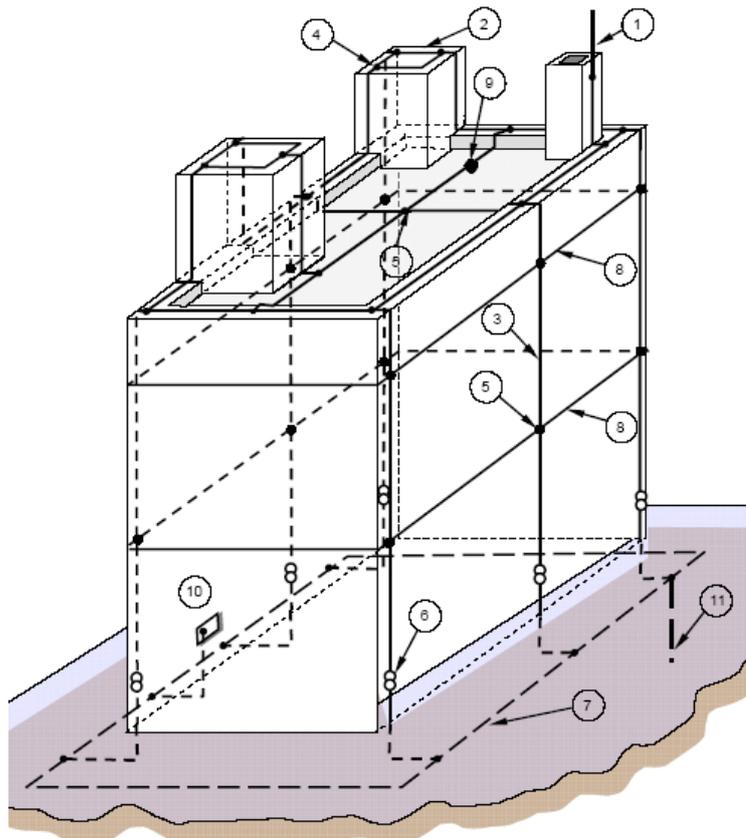
Las Figuras E.23a, E.23b y E.23c muestra ejemplos de los detalles de construcción de fijación para terminales aéreas para estructura de un techo inclinado. La Figura E.24 suministra un ejemplo de detalles de construcción para fijación sobre un techo plano.

- a 500 mm to 1 000 mm, véase la Tabla F.1
- 1) parapeto del techo
- 2) Conductor Flexible
- 3) Uniones
- 4) Uniones en T
- 5) Accesorio para el conductor de Terminal aérea
- 6) SIPRA atravesando el techo
- 7) Viga de acero
- 8) Unión

NOTA E.31 La cubierta metálica sobre los parapetos de los techos son usados como terminales de captación y son conectados a la viga de acero usada como bajante natural del SIPRA

**Figura E.24 – Construcción de un SIPRA que usa componentes naturales sobre estrecho de la estructura**

La Figura E.25 muestra la ubicación del SIPRA externo sobre una estructura de techo plano hecho de material aislante tal como madera o ladrillo. Las fijaciones del techo están dentro del espacio protegido. En estructuras altas, se instala un anillo conectado a todas las bajantes en las fachadas. Las distancias entre estos anillos conductores están dadas en la Tabla 4. Los anillos conductores bajo el nivel del radio de la esfera rodante son necesarios como conductores de equipotencialización.



- 1) Varilla de Terminal aérea
- 2) Conductor Horizontal terminal aérea
- 3) Bajante
- 4) Unión Tipo T
- 5) Unión tipo cruce
- 6) Unión de Prueba
- 7) Arreglo de puesta a tierra de Tipo B y electrodo de tierra tipo anillo
- 8) Conductor de anillo equipotencial
- 9) Techo pino con arreglo de techo
- 10) Terminal para conexión de barra de equipotencialización de un SIPRA interno
- 11) Arreglo de puesta tierra Tipo A

NOTA E32 es aplicado un anillo de equipotencialización. La distancia entre las bajantes cumple con los requerimientos de la Tabla 4 .

**Figura E.25 – Posicionamiento de un SIPRA externo sobre una estructura hecha de material aislante (madera o ladrillo) con altura hasta de 60m, techo plano y con accesorios en techo**

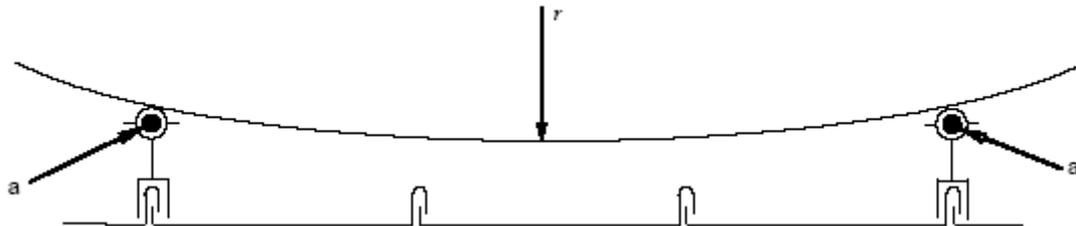
Los conductores del SIPRA y varillas deben ser asegurados mecánicamente tal que sean capaces de soportar el esfuerzo debido al viento o al clima y resistir sobre la superficie del techo.

La cubierta metálica provista para protección mecánica de las paredes externas puede ser usada como un componente natural del sistema aéreo de acuerdo con el numeral 5.2.5. Si no hay riesgo de ignición de fuego por fundición del metal. La combustibilidad depende del tipo del material bajo el revestimiento metálico. La combustibilidad del material empleado debe ser confirmada por el contratista.

Los accesorios del sellado de los techos metálicos, como en otros tipo de techos, pueden ser perforado por un rayo. En tal caso, el agua puede penetrar y filtrarse a través del techo a puntos lejanos del punto de impacto. Si se quiere evitar esta posibilidad, se debe instalar un sistema de Terminal aéreo

Las cúpulas transparentes, las salientes de humo y calor están normalmente cercanas entre si, el diseño para la protección de tales salientes deben ser discutidas con el propietario del edificio para decidir si la protección debe ser aplicable en los puntos lejanos, cercanos e intermedios de aquellas salientes de humo o calor.

Las cubiertas de techo de láminas conductoras que no estén conforme al numeral 5.2.5 pueden ser usados como terminales aéreos donde el fundido en el punto de impacto de un rayo pueda ser aceptado. Si esto no es aceptable el techo debe ser protegido por un sistema de terminales aéreos de suficiente altura véase el numeral E.20 y E.26



r Radio de la esfera rodante, Tabla 2

a Conductores de terminales aéreas

NOTA D33 La esfera rodante no debe tocar ninguna parte del techo metálico incluyendo las uniones

**Figura E.26. Construcción de una red de terminales aéreas sobre el techo con recubrimiento conductorivo donde la perforación por rayo no es aceptable**

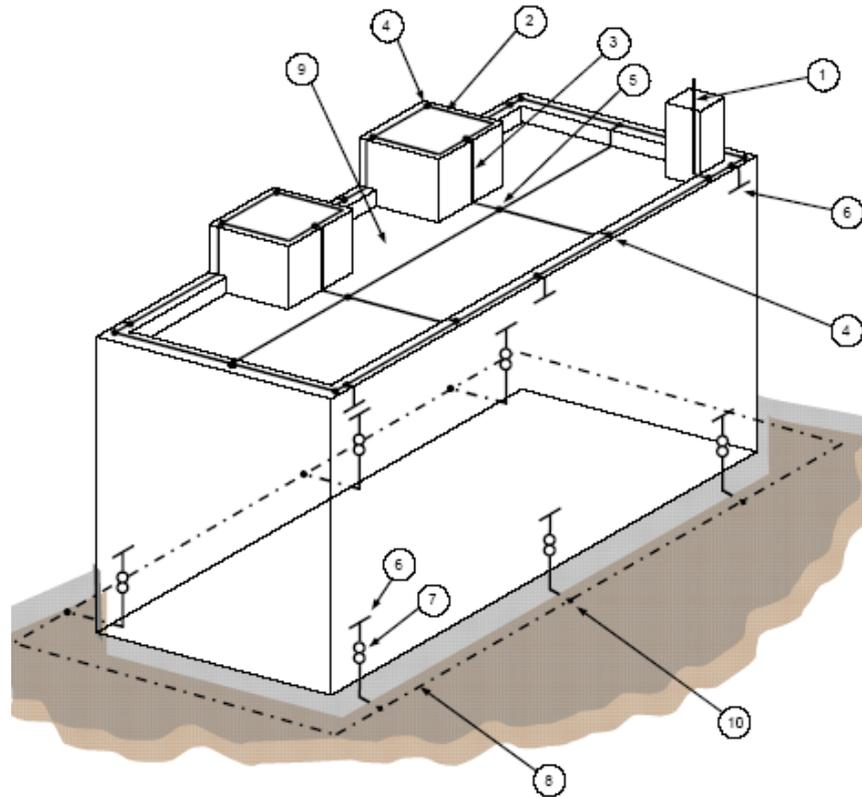
Cuando son usados soportes aislados, las condiciones para las distancias de separación con la lámina conductora estipulada en el numeral 6.3 deben ser totalmente cumplidas.

Cuando son usados soportes conductivos la conexión a la lámina del techo debe aguantar una corriente parcial de rayo vea la Figura D.26

La Figura E.24 muestra un ejemplo de una terminal natural usando el parapeto del techo como conductor de terminal aérea en el borde del área del techo.

Los tanques y estructuras sobre salientes sobre la superficie del techo deben ser protegidas por medio de varilla terminal. Alternativamente, elementos metálicos extraños deben ser unidos al SIPRA a menos que estén conforme al numeral 5.2.5

La Figura E.27 da un ejemplo de la conexión de una terminal aérea con bajantes naturales en concreto.



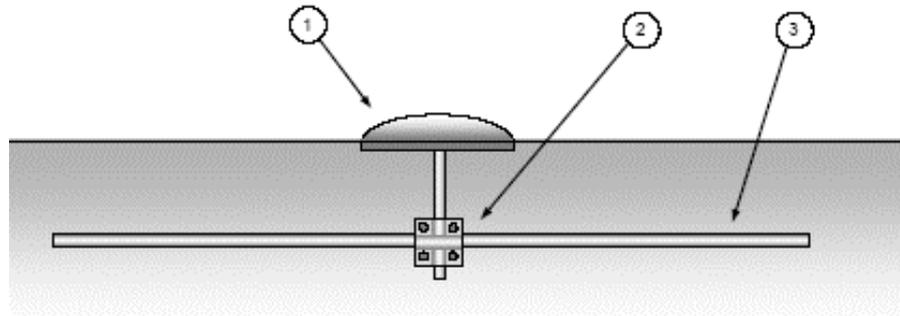
- 1) Varilla de terminal aérea
- 2) Conductor Horizontal de terminación aérea
- 3) Bajante
- 4) Unión Tipo T
- 5) Unión tipo Cruce
- 6) Conexión a las varillas de acero de refuerzo (véanse los numerales E 4.3.3 y E.4.3.6)
- 7) Punto de prueba
- 8) Electrodo de tierra Tipo B aterrizando el arreglo, electrodo de tierra tipo anillo
- 9) Techo plano con arreglos de techo
- 10) Unión tipo T resistente a la corrosión

NOTA E.34 El refuerzo de acero de la estructura debe cumplir con el numeral 4.3. Todas las dimensiones del SIPRA deben cumplir con el nivel de protección seleccionado.

**Figura E.27. Construcción de un SIPRA externo sobre una estructura de concreto reforzada con acero usando el refuerzo de las paredes externas como componentes naturales**

#### E.5.2.4.2.1 Protección contra rayos para parqueaderos multinivel

Para la protección de este tipo de estructuras, pueden ser usadas terminales aéreas en forma de monte. Estos montes pueden ser conectados al acero de refuerzo del techo de concreto. Véase la Figura E.28. En el caso de techos donde no se puede hacer la conexión al refuerzo, los conductores del techo pueden ser amarrados en las uniones de las tabletas y los montes de terminales aéreas pueden ser ubicados en las uniones de las mallas. El ancho de las malla no deberá exceder el valor correspondiente a la clase de protección dado en la Tabla 2. En este caso las personas y vehículos en el área del parqueadero no están protegidas contra rayos

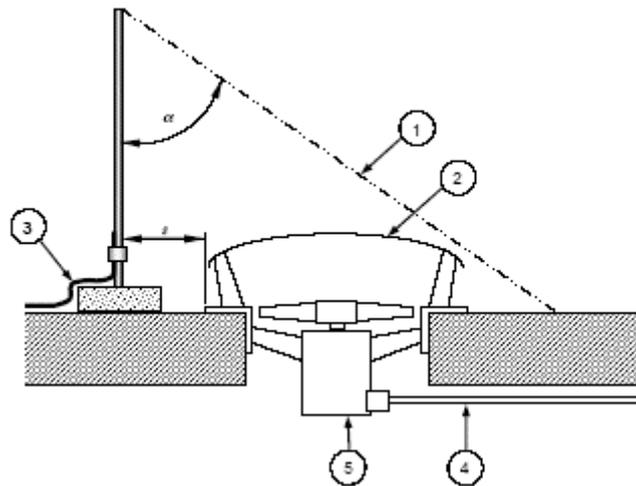


- 1) Monte de terminal aérea
- 2) Conductor de acero conectado a las barras del refuerzo del acero
- 3) Acero de refuerzo del concreto

**Figura E.28. Ejemplo de un montículo de terminación aérea usado sobre los techos de los parqueaderos**

Si el área de parqueo mas alta esta protegida contra descargas directas deben ser empleadas varillas de terminación aérea y alambre de terminación áreas resistentes a altas temperaturas

Para determinar el margen de seguridad se da una aproximación por la altura de los conductores de terminación aéreas en la Figura E.29



- 1) Cono de Protección
  - 2) Arreglo de techo metálico
  - 3) Conductor Horizontal de terminal aérea
  - 4) Línea de instalación de suministro eléctrico, preferiblemente con apantallamiento conductivo
  - 5) Equipo eléctrico
- s Distancia de separación de acuerdo con 6.3
- $\alpha$  Ángulo de protección , véase la Tabla 2

NOTA E.35 La altura de la varilla de terminación aérea debe cumplir con la Tabla 2.

**Figura E.29. Varilla de terminal aérea usada como protección de un arreglo de techo metálico con instalaciones de suministro eléctrico que no están conectadas al sistema de terminación aéreas**

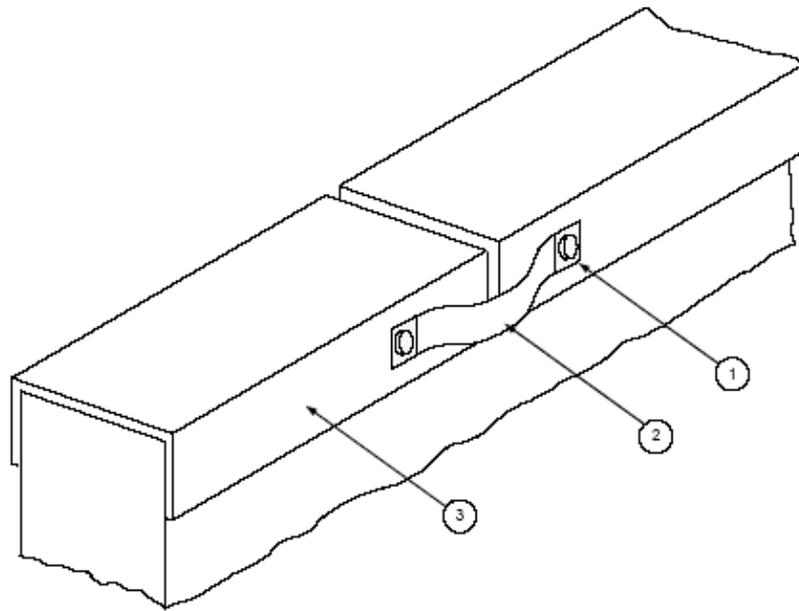
En el caso de conductores verticales, aquella área que es posible alcanzar con la mano debe ser tenida en cuenta. El margen de seguridad necesario puede ser logrado por el suministro de barreras o alambre de protección.

Señales de precaución de peligro deben ser instalados como aviso de posibles descargas durante las tormentas.

Los voltajes de paso y contacto pueden ser desatendidos si el techo esta cubierto con asfalto de 5 cm de espesor, adicionalmente, los voltajes de paso pueden ser descartados si el techo es construido con concreto reforzado y con acero de refuerzo interconectado con continuidad de acerbo a 4.3

#### **E.5.2.4.2.2 Techados planos, estructuras de concreto con acero de refuerzo con techos no accesibles al público**

Sobre un techo plano no accesible al público que incorpora un sistema externo de terminales aéreas, deben ser instalados conductores de terminación aérea como se muestra en la Figura D.27. Para el anillo conductor equipotencial sobre el techo, el revestimiento metálico sobre el parapeto del techo puede ser usado como se muestra en las Figura D.24 y D.30.



- 1) Unión resistente a la corrosión
- 2) Conductor flexible
- 3) Recubrimiento metálico del parapeto

NOTA E.36 Se debe poner especial atención en una apropiada selección de los materiales y en un buen diseño de las uniones y puenteo de los conductores para evitar la corrosión.

**Figura E.30. Método para lograr la continuidad eléctrica sobre recubrimiento metálico de los parapetos**

La Figura E.27 muestra un método de instalación de conductores en mallados sobre un techo.

Cuando se pueden aceptar, temporalmente, daños mecánicos temporales sobre la capa de protección de agua en la estructura del techo, la malla de terminación aérea que cubre el área plana del techo puede ser reemplazada con conductores naturales de terminación aérea conformados por las barras de refuerzo de acero en el concreto de acuerdo con el numeral 5.2.4. Una alternativa aceptable es que los conductores de terminales aéreas puedan ser asegurados directamente al techo de concreto.

En general, una descarga al refuerzo del techo de concreto dañará la capa de protección contra agua. El agua de lluvia puede causar corrosión de las varillas de refuerzo de acero. Si no es permitida la reducción de la resistencia mecánica del concreto debida a la corrosión, se debe instalar un sistema de Terminación aérea y, preferiblemente, conectarlo al acero de refuerzo, previniendo las descargas directas contra el concreto reforzado con acero.

El cubrimiento metálico suministrado para protección mecánica de las paredes externas puede ser usada como un componente natural de las terminales de acuerdo con el numeral 5.2.5 si no hay riesgo de fuego por fundición de metal.

Los recubrimientos del techo con láminas conductoras que no estén de acuerdo con la Tabla 3, pueden ser usados como conductores de terminales aéreas donde la fundición en el punto de descarga pueda ser tolerado. De lo contrario el laminado conductor del techo debe ser protegido por un sistema de Terminal aérea de suficiente altura, véanse las Figuras E.20 y E.26. En este caso el método de la esfera rodante debe ser aplicado. Para confirmar este

método el tamaño de la malla debe ser menor y los soportes mayores que aquellos necesarios para un sistema de terminales aéreas tipo malla común.

Cuando se usan soportes de aislamiento, las condiciones para la distancia de separación a la lámina conductora, estipulado en el numeral 6.3, se deben cumplir en su totalidad. Cuando se usan soportes conductivos la conexión a lámina del techo debe soportar una corriente de descarga parcial, véase la Figura E.29.

La Figura E.24 muestra un ejemplo de una Terminal aérea natural usando el parapeto del techo como conductor Terminal aéreo en el borde del área del techo.

Cuando es aceptable que ocurra un daño temporal a la fachada, y que sean destruidas o quebradas partes del concreto de la estructura hasta 100 mm, el numeral 5.2 permite que el conductor de anillo sobre el techo sea remplazado por un conductor de anillo natural suministrado por el acero de refuerzo del concreto.

Las partes metálicas que no satisfagan las condiciones para terminales aéreas estipuladas en el numeral 5.2.5 pueden, sin embargo ser usadas para conectar diferentes partes de descarga de la corriente de rayo dentro del dominio del área del techo.

#### **E.5.2.4.2.3 Provisión de un adecuado apantallamiento**

La paredes y techos externos pueden ser usado como apantallamiento electromagnético para los equipos eléctricos y equipos de procesamiento de información dentro de la estructura. (Véase la norma IEC 62305-2, Anexo B e NTC 4552-4).

La Figura E.27 da un ejemplo de una estructura de acero reforzado que usa el acero de refuerzo interconectado como bajantes y como apantallamiento electromagnético del espacio encerrado. Para mas detalle véase la NTC 4552-4.

Dentro del dominio del sistema de captación en el techo, todas las partes conductoras con una longitud mayor que 1 m deben ser interconectadas para formar una malla. El enmallado de apantallamiento podría ser conectado al sistema de terminales de captación en el filo del techo y también en otros puntos dentro del área del techo de acuerdo con el numeral 6.2.

La Figura E24 y E30 muestra la construcción de terminales aéreas sobre estructuras con armazón conductivo, usando el parapeto del techo como una componente Terminal aérea natural y el acero del armazón como bajantes naturales.

En la Figura E30 se da un ejemplo de cómo suministrar conductividad eléctrica en un SIPRA de componentes naturales.

Como un resultado de la reducción del tamaño de la malla de la estructura de acero comparada con la Tabla 2, la corriente de rayo es distribuida sobre varios conductores paralelos, dando como resultando una baja impedancia electromagnética y por consiguiente de acuerdo con el numeral 6.3. La distancia de separación es reducida y la distancia de separación necesaria entre la instalación y el SIPRA es mucho más fácil de obtener.

En la mayoría de estructuras el techo es la parte menos apantallada de la estructura. Por lo tanto debe ser colocada una particular atención para mejorar la eficiencia de apantallamiento.

Cuando son incorporados en el techo elementos estructurales no conductivos, el apantallamiento puede ser mejorado por la reducción del espaciamiento de los conductores en el techo.

**E.5.2.4.2.4 Protección de accesorios sobresalientes en el techo sin instalaciones conductoras**

Las varillas de captación para la protección de accesorios sobresalientes del techo deben ser de una altura tal que los accesorios a ser protegidos sean totalmente protegidos del espacio de protección de la esfera rodante de las varillas de captación o estar totalmente dentro del cono del ángulo de protección de acuerdo con la Tabla 2. La distancia de separación entre las varillas de captación y los accesorios del techo deben ser tal que la condición de proximidad en el numeral 6.3 sea satisfecha.

La Figura E.29 muestra un ejemplo de la protección de un accesorio por de varillas de captación usando el método del ángulo de protección, el valor del ángulo de protección debe ser consistente con el nivel de protección del SIPRA estipulado en la Tabla 2.

Los accesorios metálicos del techo no protegidos por las terminales de captación no requieren protección adicional si sus dimensiones no exceden las siguientes:

- Altura por encima del nivel del techo 0,3 m.
- El área total de la superestructura 1,0m<sup>2</sup>
- La longitud de la superestructura 2 m.

Los accesorios del techo no conductivos los cuales no están dentro del volumen de protección de las varillas de captación y que no sobresalen por más de 0,5 m por encima de la superficie formada por el sistema de terminación aérea no requieren protección adicional desde los conductores de terminación aérea.

Las instalaciones conductoras tales como conductores eléctricos o tuberías metálicas que vayan desde los accesorios sobresalientes del techo al interior del edificio, pueden conducir una porción considerable de la corriente de rayo al interior del edificio. Donde tales conexiones conductoras existan, los accesorios sobresalientes sobre la superficie del techo deben ser protegidos por sistemas de terminales de captación. Si la protección por medio del sistema de terminales aéreas no es posible o costosa, pueden ser instaladas en la instalación conductora, partes aisladas con longitudes correspondientes al menos a dos veces la distancia de separación especificada. (Tuberías de aire comprimido).

Las chimeneas de material aislante deben ser protegidas por medio de varillas de captación o anillos de terminación aérea cuando ellas no están dentro del espacio protegido del sistema de captación. Las varillas de captación sobre la chimenea deben ser de una altura tal que la chimenea completa quede dentro del espacio de protección de la varilla.

Es posible que un rayo impacte a una chimenea no conductora cuando la chimenea no está situada dentro del espacio de protección del sistema de captación, debido al factor debido a que la superficie interna de la chimenea esta cubierta por un depósito de hollín teniendo una conductividad tal que, incluso en la ausencia de lluvia, sea capaz de conducir la corriente de una descarga de gran longitud.

La Figura E.23b muestra la construcción de una varilla de captación sobre una chimenea hecha de ladrillo aislante.

Los accesorios metálicos del techo deben ser unidos al sistema de captación cuando la distancia de separación según el numeral 6.3 no pueda ser cumplida.

**E.5.2.4.2.5 Protección de techos que cubren equipos eléctricos o equipos de procesamiento de información**

Todos los accesorios de los techos conductores o aislantes, los cuales contienen equipos eléctricos o de procesamiento de datos, deben quedar dentro del espacio protegido del sistema de terminales de captación.

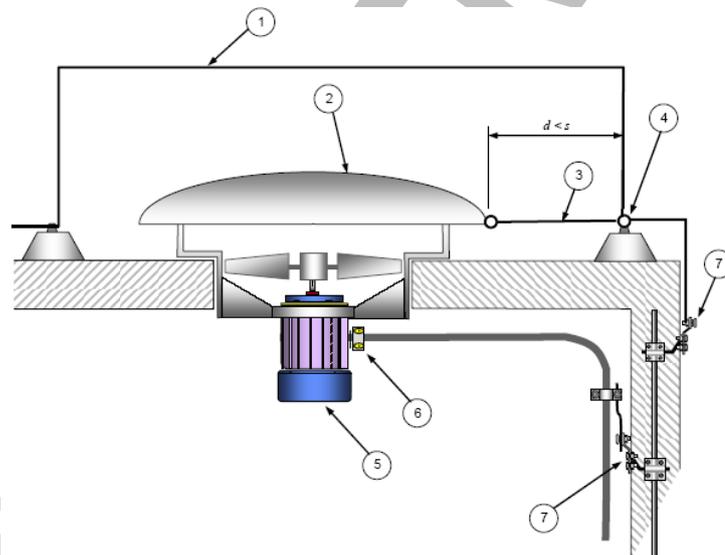
Es improbable un impacto directo a los equipos instalados dentro de la zona de sistema de protección hecho por las terminales de captación.

Un impacto directo en el techo puede ocasionar la destrucción de parte del mismo, ocasionar daños a los equipos eléctricos y electrónicos dentro de la edificación y en las cercanías al techo.

Los accesorios de los techos sobre estructuras de acero deben quedar dentro del espacio protegido por el sistema de terminales aéreas. En este caso los conductores deben ser unidos a las terminales aéreas y si es posible directamente a la estructura de acero. Cuando sean unidos a la estructura no necesariamente se deben cumplir con las distancias de separación.

Los requerimientos para los accesorios de los techos deben ser aplicados a los accesorios instalados en las superficies verticales sobre las cuales es posible el impacto directo de un rayo, i.e. puede ser tocada por la esfera rodante.

Figura D.29 y Figura D.31 contiene ejemplos de construcción de terminales aéreas que protegen los techos. La Figura D.31 es conveniente solo si la distancia de separación  $s$  no puede ser conservada.



- 1) conductor Terminal aérea.
- 2) cubierta metálica
- 3) conductor de unión
- 4) conductor horizontal terminal aérea
- 5) equipo eléctrico
- 6) caja eléctrica de unión con SPD
- 7) Unión a elementos conductivos de la estructura

NOTA Los equipos eléctricos encerrados son unidos al sistema de terminales aéreas y a los elementos conductivos de la estructura, cumpliendo la Figura 5.2.4.2.6, a través de cable metálico que resista una parte substancial de la corriente de rayo

**Figura E.31 Accesorios de techo metálicos protegidos contra interceptación directa de rayos, conexión al sistema de terminales a aéreas.**

NOTA E.37 Si los accesorios necesitan de protección extra, SPDs pueden ser conectados a las partes activas del sistema a nivel del techo.

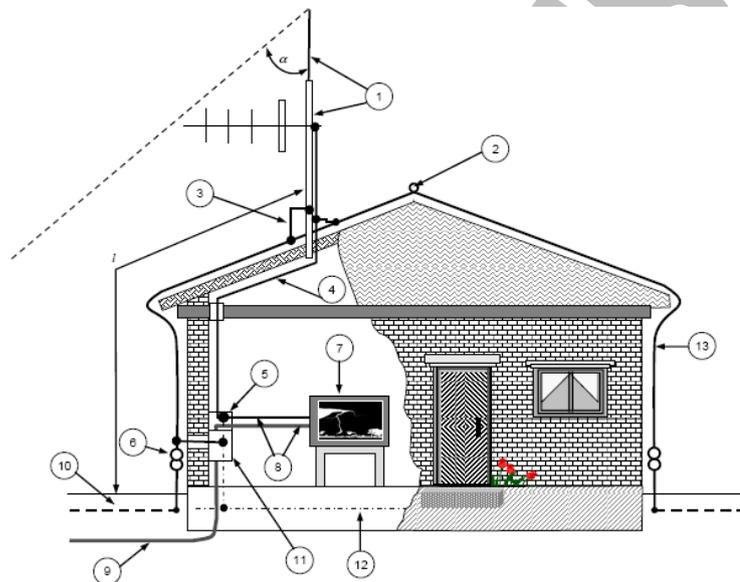
Los requisitos de las distancias de separación deben ser conservadas tanto en rutas a aéreas como en rutas a través de materiales sólidos ( $km=0,5$ )

**E.5.2.4.2.6 Instalaciones eléctricas sobresalientes desde el espacio a ser protegido**

Las antenas sobre el techo de la estructura pueden ser protegidas contra impactos directos de rayo por la instalación de mastiles en la antena ya sea dentro del volumen ya protegido o instalado en zona externa aislada del sipra.

Si es posible, el mástil de la antena debe ser unido al sistema de terminales aéreas. Entonces las corrientes parciales de rayo serán tratadas dentro de la estructura a ser protegida.

El cable de la antena debe entrar a la estructura preferiblemente en el punto común de todos los servicios o cerca de baraje principal de puesta a tierra del LPS. La película conductora del cable de la antena debe ser unida al sistema de terminales aéreas a nivel de techo y en el baraje principal de puesta a tierra (véase la Figura E.32)



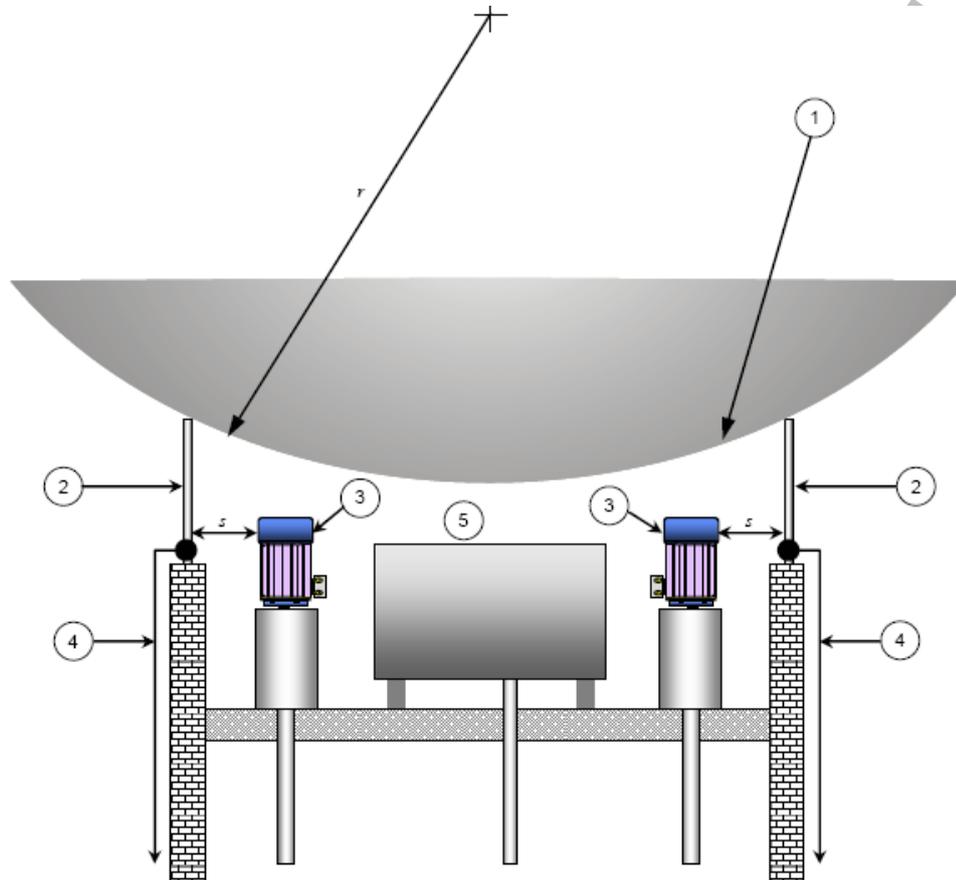
- 1) mástil metálico
- 2) conductor horizontal de terminal aérea sobre el lomo del techo
- 3) unión entre las bajantes del techo y el mástil metálico de la antena
- 4) Cable de la antena
- 5) Barraje de puesta a tierra; película metálica del cable de la antena que es conectado al barraje
- 6) punto de prueba
- 7) t.v
- 8) Ruta paralela del cable de la antena y cable de energía eléctrica
- 9) Cable de energía eléctrica
- 10) Sistema de puesta a tierra
- 11) Caja principal de distribución de energía con DPS
- 12) Electrodo de la fundación
- 13) Conductor del sipra
- L longitud distancia de separación
- $\alpha$  Angulo de protección

NOTA E.38 para estructuras pequeñas pueden ser suficientes solo dos bajantes de acuerdo con 5.3.3

**Figura E.32 Ejemplo de construcción de la protección contra rayos de una casa con antena de T.V usando mástil como varilla de terminal aérea**

E.5.2.4.2.7 Protección de partes conductoras sobre el techo

Elementos conductivos tales como aquellos con paredes delgadas, que no puedan resistir impacto directo de un rayo, instalados sobre el techo cubiertos por techos metálicos que no estén de acuerdo con el numeral 5.2.5 Tabla 3 para terminales naturales pueden ser protegidos por conductores aéreos. Para el diseño de la protección contra rayos se debe aplicar el método de la esfera rodante (véase la Figura E.33)



- s L longitud distancia de separación
- 1) Esfera rodante
  - 2) varilla de terminal aérea
  - 3) equipo eléctrico
  - 4) bajante
  - 5) vasija metálica
- r radio de la esfera rodante, véase la Tabla 2
- s distancia de separación de acuerdo con 6.3

**Figura E.33 Instalación de la protección contra rayos de impactos directos en un equipo metálico ubicado sobre el techo**

#### **E.5.2.4.2.8 Protección de estructuras cubiertas por suelo**

Para estructuras a las cuales se les incorpora una capa de suelo sobre el techo y donde no hay presencia regular de personas, el sistema de terminales aéreas debe ser un enmallado ubicado sobre la parte superior del techo, o un sistema de terminales de captación conectadas a la malla enterrada, conforme al método de la esfera rodante o por medio del uso del método del ángulo de protección.

Las estructuras con capa de suelo en el techo de 0,5 m de espesor donde es regular la presencia de personas, necesitara un sistema de enmallado de 5 m X 5 m para prevenir lo voltajes peligrosos de tensión de paso. Para proteger a las personas contra impacto directo de rayos se colocar varillas de captación de acuerdo al método de la esfera rodante, las varillas pueden ser reemplazadas por componentes naturales, se debe tener en cuenta una altura de 2,5 m como distancia de separación (véase la Figura E.3)

Si ninguna de las medidas anteriores es posible implementar, las personas deben estar informadas que en caso de presentarse una tormenta ellos están expuestos a un impacto directo del rayo.

Para estructuras bajo el piso que contengan materiales explosivos, el SIPRA puede estar aislado sobre la estructura. Todos los sistemas de puesta a tierra deben estar interconectados

#### **E.5.2.5 componentes naturales**

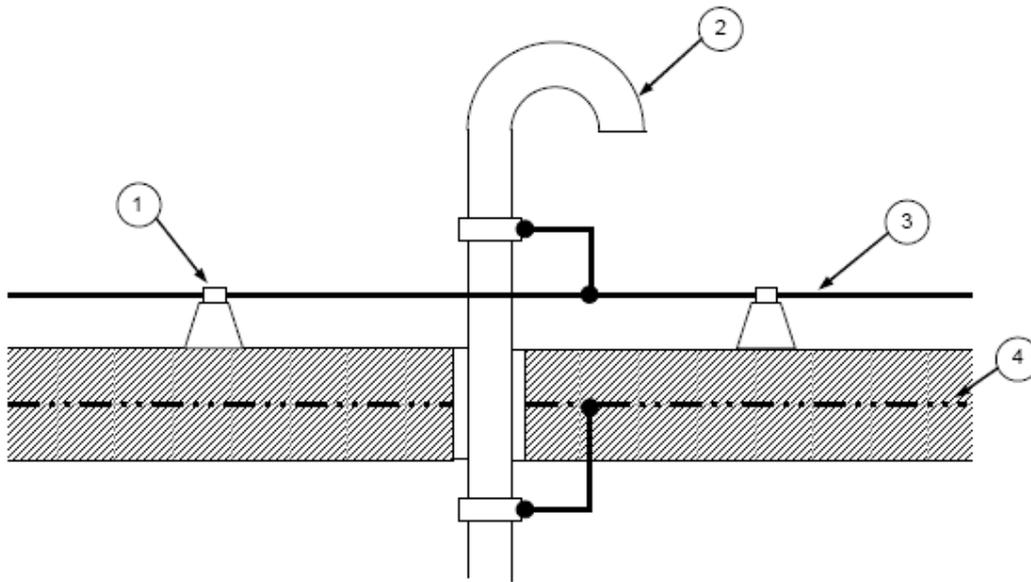
En estructuras con techos planos, con partes de aluminio doblado, acero galvanizado en forma de U que protegen los antepechos y partes mas sobresalientes contra la influencia de la humedad pueden ser utilizadas como componentes de la red de terminales captoras del SIPRA siempre y cuando cumplan con el mínimo espesor establecido en la Tabla 3.

Los terminales de captación y partes conductoras sobre la superficie del techo y bajantes deben ser conectados a los parapetos o cubiertas metálicas.

La Figura E.24 es un ejemplo de la construcción de terminales de captación usando las cubiertas conductoras de los parapetos como componentes naturales del SIPRA

Tanques y tuberías que contengan gas o líquidos bajo alta presión, gas o líquidos inflamables no deben ser usadas como terminales captoras naturales. Donde no se pueda evitar, los efectos por calentamiento ocasionados por la corriente de rayo deben ser tomadas en cuenta cuando se diseñen dichos tanques o tuberías.

Las partes conductoras sobre las superficies del techo tales como tanques de metal están a menudo conectadas naturalmente a los equipos instalados dentro de la estructura. Para prevenir la conducción de la totalidad de la corriente a través de la estructura, es necesario dar una buena conexión entre las componentes naturales del SIPRA y la malla de terminales de captación



- 1) Fijación del conductor de captación
- 2) Tubería metálica
- 3) Conductor horizontal
- 4) Acero de refuerzo dentro de concreto

NOTA E.39 La tubería de acero debe cumplir con el numeral 5.2.5 y la tabla, la unión con el conductor debe cumplir con Tabla 6 y el refuerzo debe cumplir con el numeral 4.3. La unión con el techo debe ser impermeabilizada.

NOTA E.40 En este caso en particular,

**Figura E.34. Conexión de varillas de captación naturales al conductor de captación**

Las partes conductoras sobre la superficie del techo tales como tanques y varillas de acero de refuerzo del concreto deben ser conectadas a la red de terminales de captación

Cuando no se puede soportar un impacto directo de rayo sobre las partes conductoras en el techo, dichas partes deben instalarse dentro del espacio protegido por el sistema de terminales aéreas.

Los recubrimientos conductivos sobre las fachadas y partes similares de la estructura donde el riesgo de fuego es insignificante deben ser tratados de acuerdo con el numeral 5.2.5

Figura E.35 da un ejemplo de un puenteo conductivo entre platinas de una fachada metálica en esta aplicación las platinas son consideradas como bajantes naturales

Dos métodos son presentados: puenteo por correa o banda metálica flexible y puenteo por medio de tornillo auto perforante. El puenteo por medio de banda metálica flexible solo puede ser usado en aplicaciones donde las platinas son usadas como conductores naturales. El puenteo por medio de tornillos auto perforante es conveniente solo para propósitos de apantallamiento (protección contra LEM)

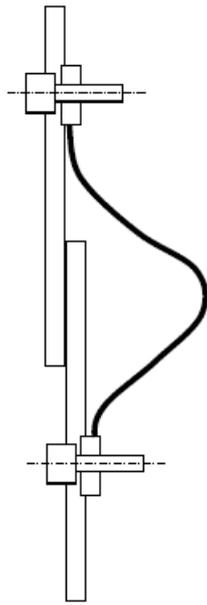


Figura E.35ª puente con banda metálica flexible

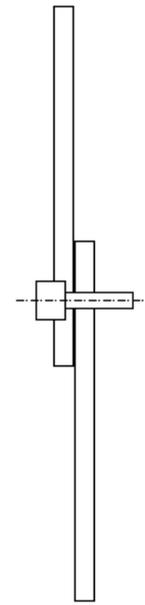


Figura E.35b. Puente con tornillo  
Autoperforante

NOTA E41 Mas información acerca de la protección contra LEM puede ser encontrada en NTC 4552-4

**Figura E.35. Construcción de un puenteo entre los segmentos de platinas metálicas de una fachada**

#### E.5.2.6 Terminales de captación aisladas

Los mástiles de captación adyacentes a las estructuras o equipos minimizan la posibilidad de un impacto directo a la estructura que esta dentro de la zona de protección cuando es instalado un SIPRA aislado

Cuando se instala mas de un mástil, deben ser interconectados por medio de conductores aéreos, las instalaciones próximas al SIPRA deben estar de acuerdo con el numeral 6.3

Las conexiones entre conductores aéreos y los mástiles dan un volumen de protección y distribuyen la corriente de rayo entre varias bajantes.

La fuerza del campo electromagnético en la estructura es reducida por causa de la gran distancia entre las instalaciones dentro de la estructura y el SIPRA. Un SIPRA aislado puede ser aplicado a la estructura del concreto reforzado, el cual mejorara el apantallamiento electromagnético. Sin embargo para estructuras altas la construcción de un SIPRA aislado no es práctico

Los sistemas de terminales aislados hechos de cables fuertes sobre soportes aislados pueden ser propios en techos donde un gran número de sobresalientes van a ser protegidas. El aislamiento de los soportes deben estar adecuados según el voltaje calculado para la distancia de separación de acuerdo con el numeral 6.3

### **E.5.3 Sistemas de bajantes**

#### **E.5.3.1 General**

La selección del número y ubicación de bajantes debe tomar en cuenta tomada en cuenta

La división de corriente en las diferentes bajantes, el riesgo de un impacto lateral y la reducción de las perturbaciones electromagnéticas dentro de la estructura. Tanto como sea posible las bajantes deben ser ubicadas uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura con una configuración simétrica.

La división de corriente es mejorada no solo por el incremento en el número de bajantes sino también por la interconexión equipotencial de los anillos.

Las bajantes deben ser ubicadas lejos hasta donde sea posible de los circuitos internos y partes metálicas con el fin de evitar la necesidad de equipotencializar con el SIPRA

Se debe recordar que:

- Las bajantes deben ser tan cortas como sean posibles (mantener una inductancia tan baja como sea posible).
- La distancia típica entre bajantes se muestra en la Tabla 4
- La geometría de las bajantes y la interconexión equipotencial de los anillos tiene influencia sobre el valor de la distancia de separación (véase el numeral 6.3)
- En estructuras sobresalientes la distancia de separación debe ser evaluada con referencia al riego de descargas laterales a personas (véase el numeral E.4.2.4.2).

Si no es posible ubicar las bajantes en un lado, o parte lateral, del edificio por causas prácticas o de arquitectura, las bajantes del lado, las bajantes deberían estar sobre la fachada deberán ser ubicadas en otro lado de forma extra compensando el sistema. La distancia entre estas bajantes no deben ser menores que un tercio de la distancia dada en la Tabla 4.

Una variación en el espacio de la bajantes de  $\pm 20\%$  es aceptable mientras la distancia media este conforme a la Tabla 4

#### **E.5.3.2 Número de bajantes para SIPRAS aislados**

No adicional información.

#### **E.5.3.2 Número de bajantes para SIPRAS no aislados**

No adicional información.

#### **E.5.3.4 Construcción**

##### **E.5.3.4.1 Información general**

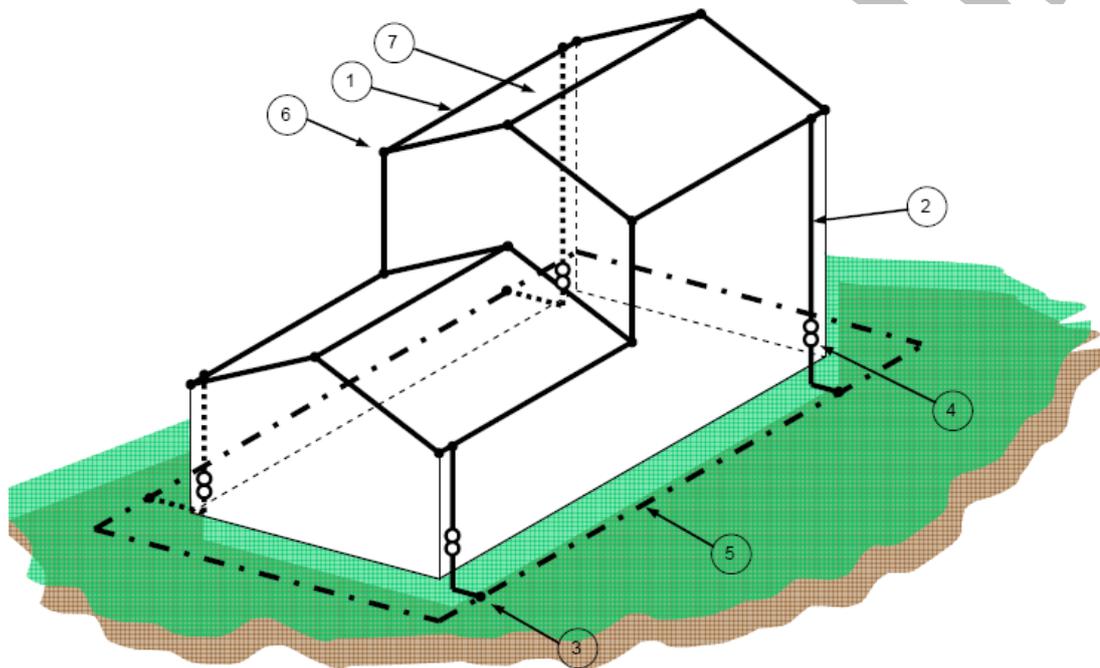
Las bajantes externas deben ser instaladas entre el sistema de terminales de captación y el sistema de puesta a tierra. Pueden ser usadas componentes naturales como bajantes.

Si la distancia de separación entre bajantes y la instalación interna, calculada con base al espaciamiento entre bajantes de acuerdo con la Tabla 4, es muy grande, el número de bajantes debe ser incrementado para hallar la distancia de separación requerida.

Los sistemas de terminales de captación, bajantes y puestas a tierra deben estar armonizadas para producir la ruta mas corta posible para la corriente del rayo

Las bajantes preferiblemente deben estar unidas a la red de terminales captoras y en ruta vertical para conectarse con el sistema de puesta a tierra.

La Figura E.36 es un ejemplo de un SIPRA externo para estructuras con diferentes niveles de techos y la Figura E.25 es un ejemplo de un SIPRA externo para una estructura de 60 m con techo plano y accesorios en el techo



- 1) Conductor horizontal
- 2) Bajante
- 3) Unión Tipo T resistente a la corrosión
- 4) Punto de prueba
- 5) Arreglo de puesta a tierra Tipo B, anillo electrodo de tierra
- 6) Unión Tipo T sobre el lomo del techo
- 7) Tamaño de la malla

NOTA E.42 La distancia entre las bajantes debe cumplir con los numerales 5.2 y 5.3 y Tabla 4

**Figura E.36. Instalación de SIPRA externo sobre estructuras con material aislantes con diferentes niveles de techo**

En estructuras sin extensas partes conductoras, la corriente de rayo fluye a través del sistema de bajantes del SIPRA. Por esta razón la geometría de las bajantes determina el campo magnético en el interior de la estructura (véase la Figura D.37)

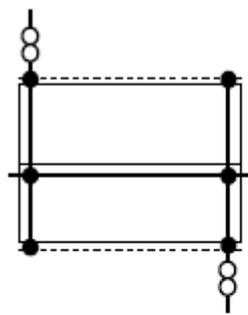


Figure E.37a

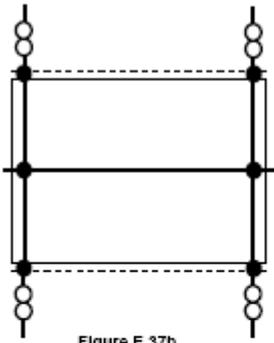


Figure E.37b

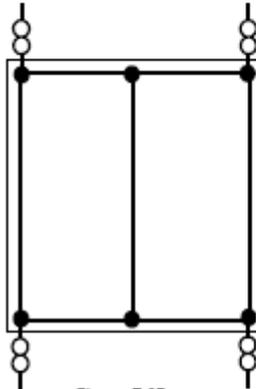


Figure E.37c

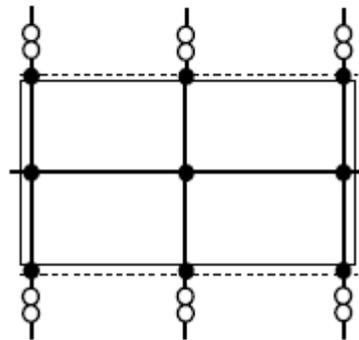


Figure E.37d

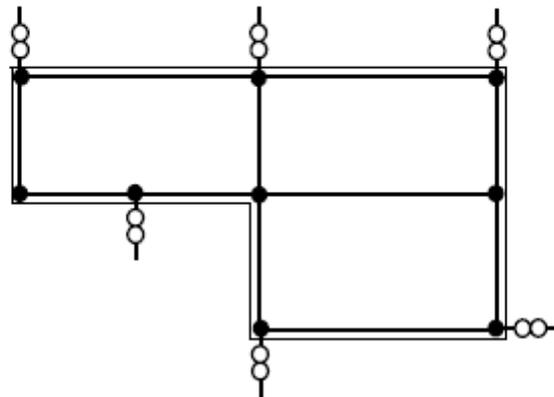


Figure E.37e

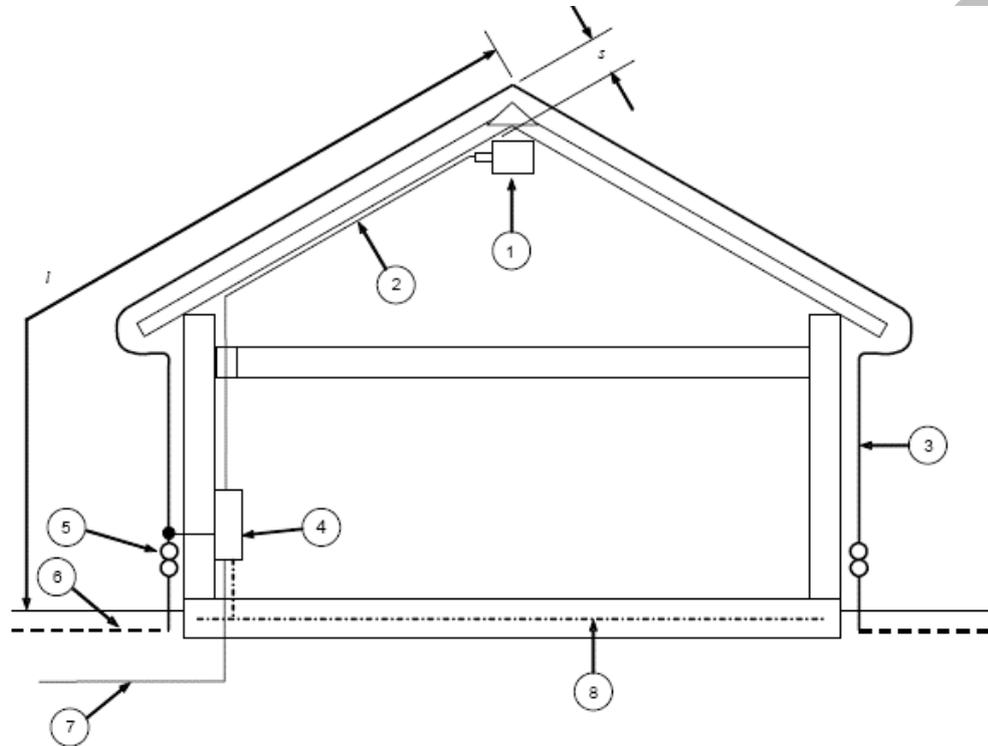
- Componentes naturales del sipra (por ejemplo canales)
- Conductores del SIPRA
- Inspección
- Punto de unión

NOTA E.43 La distancia entre las bajantes y el tamaño de la malla deben cumplir con el nivel de protección seleccionado de acuerdo con las Tablas 2 y 4

Figura E.37 Ejemplos de la geometría de los conductores del SIPRA

Cuando el número de bajantes es incrementado, la distancia de separación puede ser reducida de acuerdo con el coeficiente  $K_c$  (véase el numeral 6.3)

De acuerdo con el numeral 5.3.3 al menos dos bajantes deben ser usadas en una estructura (véase la Figura E.38 y E.36)



- 1) Equipo eléctrico
  - 2) Conductores para electricidad
  - 3) Conductores para electricidad
  - 4) Conductores del SIPRA
  - 5) Caja de distribución principal con DPSD
  - 6) Punto de inspección
  - 7) Sistema de puesta a tierra
  - 8) Cable para transporte energía
  - 9) Electrodo de puesta tierra en fundación
- S Distancia de separación de acuerdo al numeral 6.3
- L Longitud para el cálculo de la distancia de separación s

NOTA E.44 El ejemplo ilustra los problemas ocasionados por la red eléctrica u otras partes conductoras en el techo del edificio

**Figura E.38. Construcción de un SIPRA usando solo dos bajantes y electrodos de tierra en la fundación**

Para grandes estructuras, tales como edificios de apartamentos, industrial y estructuras administrativas, que son a menudo diseñadas en esqueleto de acero o acero y estructura de concreto, o concreto con acero de refuerzo, los componentes conductivos de la estructura pueden ser usados como componentes naturales.

La impedancia total del SIPRA para tales estructuras es muy baja y ofrece una eficiente protección contra rayos a las instalaciones internas. Es ventajoso usar la superficie de los muros conductivos como bajantes. Tales superficies pueden ser: muros de concreto reforzado, fachadas de hojas metálicas y fachadas con elementos de concreto prefabricado, con tal que estén conectados y unidos de acuerdo con el numeral 5.3.5

EL punto E.4 da descripción detallada de la construcción apropiada de un SIPRA usando componentes naturales tales como interconexión al acero

El uso de componentes naturales que incluye el acero estructural reduce las sobre tensiones entre el sistema de terminales de captación y el sistema de puesta a tierra, también reduce la interferencia electromagnética causada por la corriente del rayo dentro de la estructura

Si el sistema de terminales aéreas es conectado a las partes conductoras de las columnas y a la unión equipotencial a nivel de tierra, una porción de la corriente de rayo fluye a través de estos conductores internos. El campo magnético de esta corriente parcial influye en los equipos vecinos a esta y tiene que ser considerada en el diseño interno de las instalaciones eléctricas y electrónicas. La magnitud de esta corriente parcial depende de las dimensiones de la estructura del número de columnas, de la forma de onda de la corriente asumida seguido de la forma de onda de la corriente de rayo.

Si el sistema de captación es aislado de las columnas no fluye corriente a través de ellas. Si el aislamiento se rompe en un punto de la columna, la pendiente de la corriente puede incrementarse debido a la reducción del frente de onda causado por el arco y el equipo eléctrico en la vecindad es afectado

La Figura D.10 es un ejemplo de la construcción de bajantes internas en una gran estructura de concreto con acero de refuerzo para propósitos industrial. El ambiente electromagnético cercano a las columnas internas debe ser considerado cuando se planea un SIPRA interno.

#### **E.5.3.4.2 Bajantes no aisladas**

En estructuras con partes conductoras en el exterior de los muros, los conductores y el sistema de captación deben ser conectados a las partes conductoras de la estructura en diversos puntos. Esto reduce la distancia de separación de acuerdo con el numeral 6.3

Como resultado de esta conexión las partes conductoras de la estructura son usadas como bajantes y como barajes equipotenciales.

Las estructuras planas (típicamente estructuras industriales, salas de exhibición, etc.) con dimensiones sobre cuatro veces la distancia entre bajantes, deben ser provistas por bajantes internas extras cada 40 m donde sea posible.

Todas las columnas internas y todas las divisiones internas de muro con partes conductoras, tales como varillas de refuerzo de acero, que no cumplan con la distancia de separación, deben ser conectadas al sistema de terminales de captación y al sistema de puesta a tierra en diversos puntos.

La Figura E.10 muestra el SIPRA de una gran estructura con columnas internas hechas de acero reforzado en concreto. Para evitar arcos peligrosos entre las diferentes partes conductoras de la estructura, el acero de refuerzo de las columnas son conectados al sistema e terminales aéreas y al sistema de puesta a tierra. Como resultado, una parte de la corriente de rayo circulara a través de estas bajantes internas. Sin embargo, la corriente se divide entre el número de bajantes y tiene aproximadamente la misma forma de onda de la corriente de rayo pero con pendiente reducida. Si las conexiones no son hechas adecuadamente se presentaran arcos, solo uno o algunas de estas bajantes internas pueden transportar la corriente.

La forma de onda de la corriente de flameo inverso es extremadamente pendiente tanto que el voltaje inducido sobre los lazos de los circuitos vecinos son ostensiblemente superiores.

#### **E.5.3.4.3 Bajantes aisladas**

Si debido a consideraciones arquitectónicas, las bajantes no pueden ser colocadas en la superficie, ellas deben ser instaladas en las hendiduras del ladrillo. En este caso, deben ser dadas consideraciones para mantener la distancia de separación como son dadas en el numeral 6.3, entre las bajantes y las partes metálicas dentro de la estructura.

Instalaciones directamente dentro del yeso no son recomendadas ya que el yeso puede ser dañado como resultado de la expansión térmica. Además el yeso puede ser decolorado como resultado de una reacción química. El daño del yeso es probablemente resultado de incrementos de temperatura y fuerzas mecánicas de expansión ocasionadas por corrientes de rayo. Debe prevenirse el manchado en conductores con cubierta de PVC.

#### **E.5.3.5 Componentes naturales**

Para estructuras con bajos requerimientos de protección, las tuberías para aguas lluvias que satisfagan las condiciones de bajantes naturales de acuerdo con el numeral 5.3.5, pueden ser usadas como bajantes. La Figura E.23a, E.23 b y E.23 c muestran ejemplos de fijación de conductores en el techo y bajantes incluyendo un adecuado dimensionamiento geométrico, la Figura E.23d y E.23e muestran las conexiones de las bajantes a la tubería para aguas lluvias, canales conductoras y el conductor del sistema de puesta a tierra.

La Figura E.8 muestra la construcción de bajantes naturales usando elementos de la fachada metálica y el acero de refuerzo en el concreto de los muros como plano de referencia equipotencial para que sean conectadas a los barrajes equipotenciales del SIPRA interno. Para fachadas metálicas, la máxima expansión térmica puede ser calculada como la diferencia entre la longitud producida por la máxima temperatura de la fachada metálica a pleno sol de aproximadamente +80 °C y un mínimo de -20 °C

La diferencia de temperatura de 100 °C corresponde a la expansión térmica de 0,24 % para el aluminio y de 0,11 % para el acero

La expansión térmica de los paneles resulta del movimiento de los paneles con respecto a la sección próxima o la de sus accesorios.

Una fachada metálica produce el máximo de apantallamiento cuando es eléctricamente interconectado en la totalidad de su área

La simetría de la distribución de corriente esta directamente relacionada con el número de conexiones

Las fachadas comprenden un gran número de elementos pequeños que no están interconectados y no pueden ser usados como un sistema de bajante o apantallamiento electromagnético

Información adicional para la protección de instalaciones eléctricas y electrónicas en estructuras es suministrada en la NTC 4552-4

#### **E.5.3.6 Puntos de inspección**

Los puntos de inspección facilitan las mediciones de la resistencia del sistema de puesta a tierra.

Los puntos de inspección deben estar de acuerdo con el numeral 5.36, deben ser instalados en la unión de las bajantes y el sistema de puesta a tierra. Estos puntos facilitan la corroboración de la existencia del sistema de puesta a tierra. Se valida la existencia de la continuidad de las conexiones entre los puntos de inspección y el sistema de terminales de captación o el barraje de unión más cercano. En estructuras altas son instalados bajantes y anillos conductores los cuales son invisibles al ojo, para confirmar su existencia solo se puede hacer mediante mediciones eléctricas.

Las Figuras E.39a hasta la Figura E.39d muestran ejemplos de diseños de puntos de inspección, que pueden ser instalados dentro o fuera del muro de la estructura o en una caja de inspección en la tierra fuera de la estructura (véase la Figura E.39b).

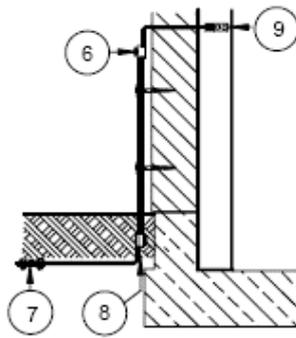


Figure E.39a

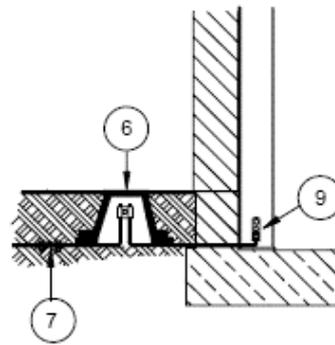


Figure E.39b

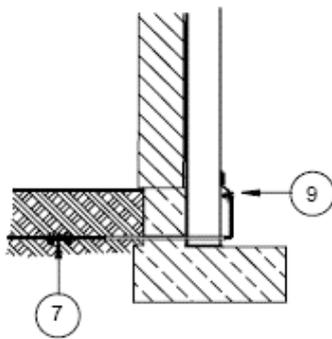


Figure E.39c

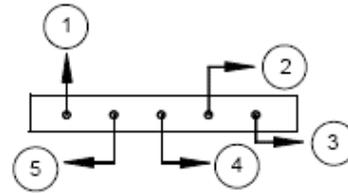


Figure E.39d

**Alternativa 1. Punto de prueba sobre la pared**

- 1) Bajante
- 2) Electrodo de tierra Tipo B, si es aplicable
- 3) Electrodo de tierra Tipo A, si es aplicable
- 4) electrodos de tierra en fundación
- 5) Unión al SIPRA interno
- 6) Punto de prueba sobre el muro I
- 7) Unión T en el suelo resistente a la corrosión
- 8) Unión en el suelo resistente al a corrosión
- 9) Unión entre el conductor de rayos y una viga de acero

**Alternativa 2. Punto de prueba en el piso**

- 1) Bajante
- 2) Electrodo de tierra Tipo B, si es aplicable
- 3) Unión al barraje de unión del SIPRA
- 4) Electrodo en anillo B
- 5) Electrodo en anillo B
- 6) Punto de inspección en el piso
- 7) Unión T en el suelo resistente a la corrosión
- 8) Unión en el suelo resistente al a corrosión
- 9) Unión entre el conductor de rayos y una viga de acero

NOTA E.45 El punto de prueba detallado en la Figura F.39d debe ser instalada fuera o dentro del muro de la estructura o en una de prueba en la tierra fuera de la estructura

NOTA E.46 Para hacer un lazo resistente a las medidas algunos de los conductores deben tener película aislante a lo largo de las secciones críticas

**Figura E.39. Ejemplos de conexión de terminales de tierra al SIPRA de la estructura usando componentes naturales (vigas) y detalles de puntos de prueba**

Las conexiones de las bajantes naturales a los electrodos de puesta a tierra pueden ser probadas con segmentos de conductores aislados y puntos de inspección. Los electrodos de puesta a tierra deben ser instalados de tal manera que se facilite el monitoreo del aterrizamiento del SIPRA.

#### **E.5.4 Sistema de puesta a tierra**

##### **E.5.4.1 General**

El diseñador e instalador SIPRA deben seleccionar un apropiado tipo de electrodo de puesta a tierra y debe localizarlos a una distancia segura de las entradas y salidas de la estructura y de las partes externas conductoras ubicadas en el suelo. El diseñador e instalador del SIPRA debe prever protección contra los voltajes peligrosos de paso en la vecindad del sistema de puesta a tierra si son instalados en áreas accesibles al público (véase el punto 8).

La profundidad de embebido y el tipo de electrodos de puesta a tierra deben ser tal que minimicen los efectos de la corrosión, secado y congelamiento, por consiguiente estabilidad en el valor de resistencia de puesta a tierra.

La profundidad de los electrodos de puesta a tierra puede ser efectiva en casos donde la resistividad del suelo decrece con la profundidad y donde el sustrato de baja resistividad esta a una gran profundidad

Cuando el refuerzo metálico del concreto es usado como electrodo de tierra, se debe tener especial cuidado en la interconexión para prevenir una ruptura mecánica del concreto.

Si el metal de refuerzo es usado también para protección de tierra, deben ser escogidas las medidas más severas respecto a espesor y conexionado de las varillas. En este caso, debe ser considerado el gran tamaño de las barras de refuerzo. La necesidad de cortas y firmes conexiones para el sistema de puesta a tierra de la protección contra rayos tienen la necesidad de ser reconocibles en todo momento.

##### **E.5.4.2 Tipos de arreglos de electrodos de puesta a tierra**

###### **E.5.4.2.1 Arreglo Tipo A**

El sistema de puesta a tierra Tipo A es conveniente para estructuras bajas (por ejemplo casas familiares), en estructuras existentes, en SIPRAS con varillas y cables extendidos, o para un SIPRA aislado.

Este tipo de arreglo comprende electrodos de puesta a tierra verticales y horizontales conectados a las bajantes.

Donde hay un anillo conductor, que interconecte las bajantes y que esté en contacto con el suelo el arreglo del electrodo de puesta a tierra es clasificado como Tipo A si el anillo conductor está en contacto con el suelo por lo menos el 80 % de su longitud

En el arreglo Tipo A deben ser dos el mínimo número de electrodos.

###### **E.5.4.2.2 arreglo Tipo B**

El sistema de puesta a tierra Tipo B es preferido para sistemas de terminales aéreas enmalladas y para SIPRAS con diferentes bajantes.

Este tipo de arreglo comprende o un anillo de electrodos de puesta a tierra externos a la estructura en contacto con el suelo al menos en el 80 % de su longitud total, o a un electrodo de puesta a tierra de fundación.

Para roca sólida, se recomienda solo el arreglo Tipo B.

### **E.5.4.3 Construcción**

#### **E.5.4.3.1 General**

Los sistemas de puesta a tierra deben cumplir las siguientes tareas:

- Conducción de la corriente de rayo dentro de la tierra.
- Unión equipotencial entre las bajantes.
- Control de potencial en la vecindad de los muros conductivos del edificio.

Los electrodos de puesta a tierra de fundación y el Tipo B de anillo deben reunir todos los requerimientos anteriores. El electrodo de puesta a tierra radial Tipo A o electrodo de tierra vertical enterrado no cumple con estos requerimientos con respecto a la unión equipotencial y control de potenciales.

La fundación de la estructura es interconectada al acero de refuerzo del concreto, debe ser usada como electrodo de puesta a tierra de fundación. Ellos tienen muy bajo valor de resistencia de puesta tierra y cumplen una excelente referencia de equipotencialización. Cuando esto no es posible un sistema de puesta tierra preferiblemente del Tipo B electrodo de anillo, debe ser instalado alrededor de la estructura.

#### **E.5.4.3.2 Electrodo de puesta tierra de fundación**

Un electrodo de puesta a tierra de fundación que cumpla con el numeral 5.44, comprende conductores que son instalados en la fundación de la estructura bajo tierra. La longitud de los electrodos adicionales debe ser determinado por medio del uso del diagrama de la Figura 2.

Los electrodos de puesta a tierra de fundación deben estar instalados en concretos. Ellos tienen la ventaja de que si son cubiertos al menos por 50 mm, tendrán una razonable protección contra la corrosión. Se debe recordar que las varillas de acero de refuerzo en concreto generan la misma magnitud de potencial galvánico que los conductores de cobre en el suelo. Esto ofrece una buena solución de ingeniería para el diseño de puesta a tierra para estructuras de concreto reforzado. (véase la Figura E.4.3)

Los metales usados en los electrodos de puesta a tierra deben estar de acuerdo a los materiales mencionados en la Tabla 7 y debe siempre tener en cuenta el comportamiento del metal con respecto a la corrosión en el suelo. Algunas normas están dadas en el numeral 5.6. Cuando la norma para suelos no está disponible, se debe determinar mediante la experiencia con los sistemas de puesta a tierra vecinos a la planta con suelos de similares propiedades químicas y consistencia. Cuando las zanjas se cambien en los sistemas de puesta a tierra, debe tener cuidado con las cenizas y trozos de carbón o desperdicios del edificio cuando estén en contacto directo con el electrodo de puesta a tierra.

Un problema adicional surge de la corrosión electroquímica ocasionada por la corriente galvánica. Cuando el acero en concreto es conectado al acero en el suelo un voltaje galvánico

de aproximadamente un (1) voltio causa una corriente de corrosión que fluye a través del suelo y el concreto húmedo disolviendo el acero en el suelo.

Los electrodos de puesta a tierra en el suelo deben ser de cobre o conductores limpios de acero donde estos son conectados al acero del concreto.

En el perímetro de una estructura el conductor metálico debe estar de acuerdo con la Tabla 7, o una tira de acero galvanizado debe ser instalada en la fundación y serán hechos más de un punto de Terminal diseñados como puntos reinspección para las bajantes de los rayos.

La capa de impermeabilización a menudo insertada bajo la fundación de la estructura reduce la humedad en la base de los pisos dando aislamiento eléctrico al sistema. El electrodo de puesta a tierra debe ser instalado bajo la fundación en el sub-concreto. Un permiso debe ser obtenido con el constructor para el diseño del sistema de puesta a tierra.

Donde el nivel freático es alto, la fundación de la estructura debe ser aislada del agua del subsuelo. Una capara de sellado impermeabilizante debe ser aplicada al exterior de la superficie de la fundación, que también dará aislamiento eléctrico. La práctica se vierte una capa de concreto aproximadamente de 10 cm. a 15 cm en la parte más profunda del pozo de la fundación, sobre la cual el aislamiento y después el concreto de la fundación es vertido.

Un electrodo de puesta a tierra de fundación consiste de un tamaño de malla no superior a 10 m y debe ser instalada en una capa de concreto limpio en la base del pozo de la fundación.

El conductor de acuerdo con la Tabla 7 debe conectar el sistema de puesta a tierra enmallado con el refuerzo en la fundación, los electrodos del anillo de puesta a tierra, y las bajantes externas a la barrera húmeda.

Cuando la penetración del conductor a través de la capa de aislamiento no es permitida por el constructor, las concesiones deber ser hechas a los terminales de puesta tierra fuera de la estructura

Figura E.40. Muestra tres diferentes ejemplos de cómo instalar los electrodos de puesta a tierra de la fundación en una estructura con fundación impermeabilizada permitiendo la perforación de la barrera húmeda.

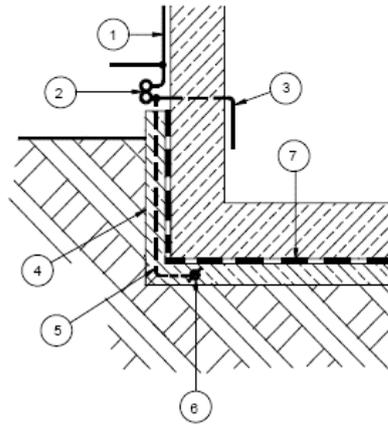


Figura E.40a – Fundación aislada con electrodo de puesta a tierra de fundación con capa de concreto no reforzado bajo una capa de aislamiento bituminoso

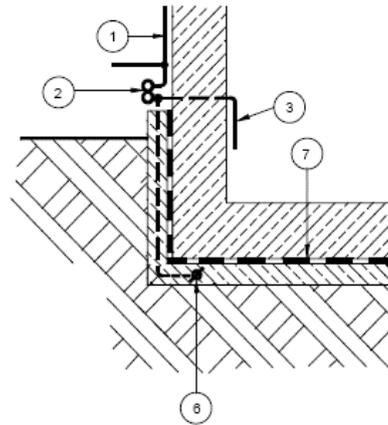


Figura E.40b – Fundación aislada con conductor de puesta a tierra pasando parcialmente a través del suelo

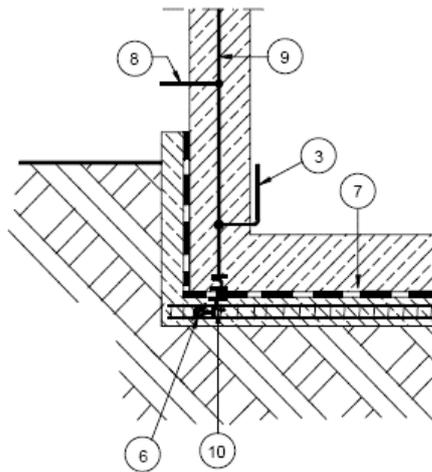


Figura E.40c Conductor conectado desde el electrodo de puesta a tierra de fundación hasta el barraje de unión pasando a través de una capa aislante bituminosa

- 1) bajante
- 2) Punto de prueba
- 3) Conductor unido al SIPRA interno
- 4) Capa de concreto no reforzada
- 5) Conductor conectado al SIPRA
- 6) Electrodo e puesta a tierra de fundación
- 7) Aislamiento bituminoso, capa aislante a agua estancada
- 8) Conductor conectado entre acero de refuerzo y punto de prueba
- 9) Acero de refuerzo en el concreto
- 10) Perforación de la capa bituminosa

NOTA E47 Es necesario el permiso del constructor de la estructura.

Figura E.40. Construcción del anillo de puesta a tierra para estructuras de diferente diseño de fundación

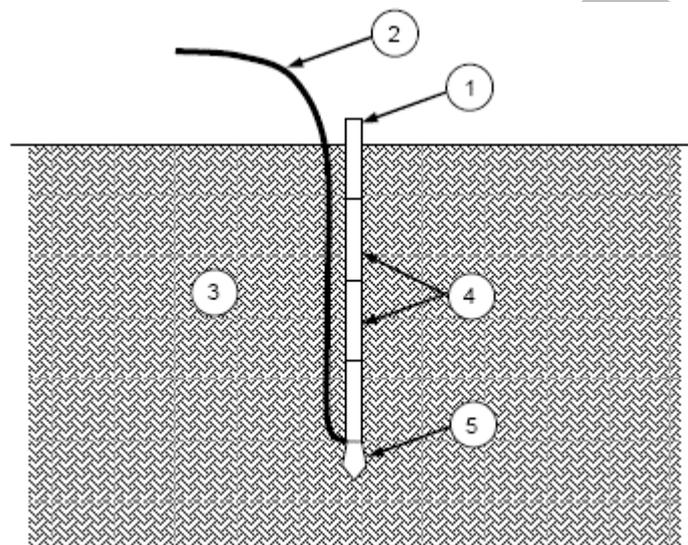
Las Figuras E.40a y E.40b muestran conexiones externas al aislamiento sin dañar alguno, la Figura E.40c muestra un bushing a través del aislante.

#### E.5.4.3.3 Tipo A. Electrodo de puesta a tierra radial y vertical

Los electrodos radiales deben ser conectados a la parte más baja finalizando las bajantes por medio de uniones de prueba. Los electrodos radiales pueden terminar en electrodos verticales

Cada bajante debe estar con un electrodo de puesta a tierra

La Figura E.41 muestra un tipo de electrodo de puesta a tierra Tipo A donde un conductor drena la corriente de rayo al suelo aprovechando el espacio de las varillas enterradas. Esta técnica de aterrizaje tiene varias ventajas y evita el uso de abrazaderas y uniones en el suelo. Generalmente son clavados electrodos de puesta a tierra inclinados o verticales.



- 1) Varilla corta enterrada desde la parte superior
- 2) conductores de puesta a tierra
- 3) Suelo
- 4) Varillas cortas enterradas
- 5) dardo o punta de acero enterrada

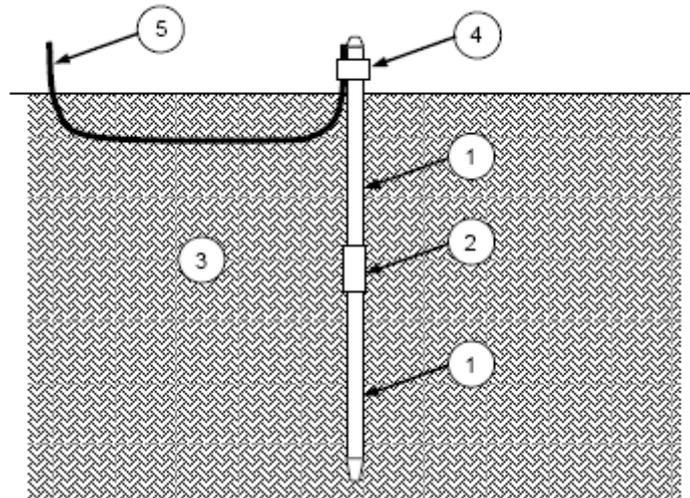
NOTA E.48 Un cable continuo es enterrado dentro del suelo por medio de una varilla corta enterrada. La conductividad eléctrica del conductor del electrodo de puesta a tierra es de gran ventaja; usando esta técnica, no se introducen uniones en el conductor de puesta a tierra. Varillas de segmentos cortos pueden ser enterradas y son de fácil manejo.

NOTA E.49 La parte más elevada de la varilla enterrada puede ser removida.

NOTA E.50 La parte superior del conductor de puesta a tierra puede tener una protección aislante

Figura E.41a Ejemplo de un electrodo de puesta a tierra Tipo A con un conductor tipo vertical

Figura E.41. Ejemplos de dos electrodos verticales en un arreglo Tipo A



- 1) Varilla extensible de puesta a tierra
- 2) Acople de varilla
- 3) Suelo
- 4) abrazaderas para varilla
- 5) conductores de puesta a tierra

**Figura E.41b. Ejemplo de un arreglo Tipo A con varilla vertical**

**Figura E.41. Ejemplos de dos electrodos verticales en un arreglo Tipo A**

Es conveniente medir la resistencia de puesta a tierra regularmente. La conducción puede ser interrumpida en cuanto la resistencia de puesta a tierra pare de decrecer. Electrodo adicionales pueden ser instalados en sitios adecuados.

El electrodo de puesta a tierra debe tener suficiente separación desde el cable existente hasta las tuberías metálicas enterradas. La distancia de separación depende de la energía del impulso eléctrico, de la resistividad del suelo y de la corriente en el electrodo.

En el arreglo Tipo A, los electrodos verticales tienen mayor ventaja costo-beneficio debido a la estabilidad de la resistencia en el tiempo, caso que no ocurre en los electrodos horizontales.

En algunos casos puede ser necesaria la instalación de electrodos dentro de la estructura, por ejemplo en un sótano o bodega.

Si hay peligro de incremento de resistencia cerca de la superficie (por ejemplo, a través de secado exterior), es necesario emplear electrodos profundos de gran longitud.

Los electrodos de puesta a tierra radial deben ser instalados 0.5m de profundidad. Un electrodo profundo asegura que en países en los cuales las temperaturas son bajas durante el invierno, el suelo congelado posee un valor extremadamente bajo de conductividad. Un beneficio adicional de los electrodos profundos es dar una reducción de los potenciales en la superficie de la tierra y por consiguiente una reducción en los nivel de tensiones de paso. Los electrodos verticales son preferidos por alcanzar valores estables de resistencia.

Cuando se tiene un arreglo de puesta a tierra Tipo A es necesario la equipotencialización de todos los electrodos es alcanzada por medio de los conductores de unión equipotencial y barras equipotenciales preferiblemente fuera de la estructura.

#### **E.5.4.3.4 Tipo B. electrodos de puesta a tierra en anillo**

Para estructuras con material aislante tales como, madera o ladrillo sin una fundación de acero reforzado, debe instalarse un electrodo de puesta a tierra Tipo B de acuerdo con el numeral 5.4.2.2

Con el fin de reducir la resistencia equivalente de puesta a tierra del arreglo Tipo B se necesita adicionar electrodos verticales o radiales de acuerdo con el numeral 5.4.2.2, la Figura 2 da los requerimientos estimados para la longitud mínima de los electrodos de puesta a tierra.

El electrodo de puesta tierra Tipo B realiza la función de equipotencialización entre las bajantes a nivel de tierra, ya que diferentes bajantes dan diferencia de potencial debido a inadecuados distribución de corriente de rayo ocasionada por la variación en los valores de resistencia de puesta a tierra. La diferencia de potencial ocasiona un flujo de corriente ecualizándose a través del anillo de puesta a tierra, el valor de potencial máximo es reducido y el sistema de unión equipotencial conectado a el dentro de la estructura lleva aproximadamente el mismo potencial.

Donde las estructuras pertenecen a diferente propietario no es posible colocar el anillo de puesta a tierra para abarcar la totalidad de las estructuras. En este caso la eficiencia del sistema de puesta a tierra es reducida un poco, ya que el anillo conductor actúa en cierto modo como electrodo tipo, en parte como electrodo de puesta a tierra de fundación y en parte como un conductor de unión equipotencial.

En lugares donde un gran numero de personas confluye con frecuencia a una aérea adyacente a la estructura a ser protegida, debe tener cuidado con el control de potencial para tales áreas. Los electrodos de puesta a tierra tipo anillo deben ser instaladas a una distancia aproximada de 3 m desde el primer anillo de conductores subsiguiente. Los electrodos tipo anillos deben ser instalados a una profundidad prudencial, por ejemplo a 4 m de la estructura y a 1 m de profundidad, a 7 m de la estructura y a 1,5 m de profundidad, si esta a 10 m de la estructura deberá estar a una profundidad de 2 m. Estos electrodos de puesta a tierra tipo anillo deben ser conectados por medio de conductores radiales.

Cuando el área adyacente a la estructura es cubierta por 50 mm de losa de asfalto de baja conductividad, se da una suficiente protección a las personas que circulan en el área.

#### **E.5.4.3.5 Electrodo de puesta a tierra en suelo rocoso**

Durante la construcción, un electrodo de puesta a tierra tipo fundación debe ser construido dentro de la fundación de concreto. Incluso donde el electrodo de puesta a tierra de fundación tiene un reducido efecto de aterrizamiento ocasionado por el suelo rocoso, este actúa aun como un conductor equipotencial.

En los puntos de prueba, los electrodos adicionales deben ser conectados a las bajantes y a los electrodos de puesta a tierra en la fundación.

Si los electrodos de puesta a tierra radiales que se ubican sobre o cerca de la superficie del terreno deben ser cubiertos por piedras o embebido en concreto para protección mecánica.

Para el control de potencial en ciertos casos se puede instalar un anillo adicional en la vecindad de la entrada a la estructura o incrementar artificialmente el valor de resistividad en la superficie del suelo.

#### E.5.4.3.6 Sistemas de puesta a tierra en grandes áreas

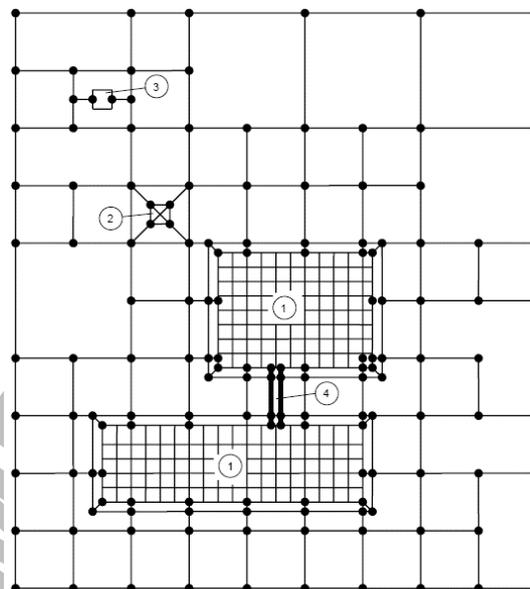
Los sistemas de puestas a tierra en las estructuras son muy importantes en la protección del sistema eléctrico. Una baja impedancia en el sistema de puesta a tierra reduce la diferencia de potencial entre las estructuras y también la interferencia inyectada en los lazos eléctricos

Debe instalar un punto de inspección en las interconexiones entre los electrodos de puesta a tierra, los electrodos de puesta a tierra de fundación y las bajantes. Algunos de los puntos de inspección deben ser conectados al barraje equipotencial del sistema interno del SIPRA.

Las bajantes internas, las partes estructurales internas usadas como bajantes, deben estar conectadas a un electrodo de puesta a tierra y al acero de refuerzo del piso para evitar tensiones de paso y de toque. Si las bajantes internas están cerca de las juntas de expansión en el concreto, estas juntas deben ser puenteadas tan cerca como sea posible a las bajantes internas

Las partes bajas de las bajantes expuestas deben ser aisladas por tubos de PVC con un espesor de por lo menos 3mm o su equivalente en aislamiento.

Las puestas a tierra por interconexión de un numero de estructuras, se logra obtener un sistema enmallado como se muestra en la Figura D.42.



- 1) Edificio con red enmallada de refuerzo
- 2) torre dentro de la planta
- 3) Stand-alone equipment
- 4) Cable en zanjas

NOTA E.51 Este sistema da una baja impedancia entre edificios y tiene una significativa ventaja en EMC. EL tamaño de las mallas cercanas al edificio y a otros objetos puede estar en el orden de 20mX20.

Figura E.42. Sistema de enmallado de puesta a tierra de una planta

La Figura E.42 muestra el diseño de una red enmallada de electrodos de puesta a tierra, incluyendo cables en zanjas, entre estructuras asociadas de edificios protegidos contra rayos. Esto provee una baja impedancia entre edificios y tiene una ventaja significativa en la protección contra LEMP.

### **E.5.5 Componentes**

No hay información adicional.

NOTA E.52 La distancia entre las fijaciones son dadas en la Tabla D.1

### **E.5.6 Materiales y dimensiones**

#### **E.5.6.1 Diseño mecánico**

El diseñador de la protección contra rayos debe consultar a las personas responsables de la estructura en el aspecto del diseño mecánico para complementar el diseño eléctrico.

Las consideraciones estéticas son importantes así como la correcta selección de materiales con el fin de evitar los riegos de corrosión.

El tamaño mínimo de los componentes de la protección contra rayos del SIPRA es dado en las Tablas 3, 6, 7,8 y 9

Los materiales usados en los componentes de un SIPRA son dados por la Tabla 5

NOTA E53 Los componentes tales como abrazaderas y varillas son seleccionadas de acuerdo con la serie EN 50164

El diseñador y el instalador del SIPRA deben verificar la capacidad de los materiales usados. Esto se logra por medio de los certificados de pruebas y reportes de los fabricantes, demostrando que los materiales han alcanzado las pruebas de calidad.

El diseñador e instalados del SIPRA debe especificar los pernos, abrazaderas y accesorios que estarán expuestos a las fuerzas electrodinámicos de la corriente de rayo en los conductores y permitir la expansión y contracción de los conductores debido a los incrementos de temperatura

Las conexiones entre los paneles metálicos deben ser compatibles con los materiales del mismo, debe tener un área de contacto superficial de  $50 \text{ mm}^2$  y ser capas de resistir las fuerzas electrodinámicas del rayo y la corrosión ocasionada por el medio ambiente.

Cuando el incremento excesivo de temperatura en la superficie es preocupante por el hecho de ser inflamable o por tener un bajo punto de fusión, medidas de precaución deben ser tomadas tales como montajes externos y la inserción de capas resistentes al fuego

El diseñador del SIPRA debe identificar todas las áreas con problemas de corrosión y especificar las medidas apropiadas a tomar.

Los efectos de la corrosión sobre el SIPRA puede ser reducida o por el incremento del tamaño del material o por el uso de componentes resistentes a la corrosión o tomando otras medidas de protección contra la corrosión.

### **E.5.6.2 Selección de materiales**

#### **E.5.6.2.1 Materiales**

Los materiales y condiciones de uso son listados en la Tabla 5

Las dimensiones de los conductores del SIPRA, incluyendo las terminales de captación, bajantes y sistemas de puesta a tierra son dadas en la Tabla 6 y 7 tanto para materiales como el cobre, aluminio y acero.

El espesor mínimo de las laminas de metal, tuberías metálicas y contenedores usados como componentes naturales de captación son dados en la Tabla 3, y las mínimas dimensiones para los conductores de unión son listados en la Tabla 8 y 9.

#### **E.5.6.2.2 Protección contra la corrosión**

El SIPRA debe ser construido con materiales resistentes tales como el cobre, aluminio, acero inoxidable y acero galvanizado. El material de las varilla de captación y cables deben ser electroquímicamente compatible con los material de los elementos de conexión y tener una buena resistencia a la atmósfera corrosiva y a la humedad

Las conexiones entre materiales diferentes deben ser evitadas, de lo contrario deben ser protegidas.

Las partes de cobre nunca deben ser instaladas sobre partes de aluminio o galvanizadas a menos que estas partes estén protegidas contra la corrosión.

Partículas extremadamente finas son emanadas por las partes de cobre las cuales tiene como resultado daños de corrosión severa en las partes galvanizadas incluso donde el cobre y las partes galvanizadas no están en contacto directo.

Los conductores de aluminio no deben estar directamente fijados a edificios de superficies calcáreas tales como concreto caliza y yeso, nunca deben ser usados dentro de la tierra.

##### **E.5.6.2.2.1 Metales en el suelo y aire**

La corrosión del metal ocurrirá dependiendo del tipo de metal y la naturaleza del medio ambiente. Los factores ambientales tales como la humedad, las sales disueltas (formando así un electrolito), la ventilación, la temperatura y el gran movimiento del electrolito hacen de esta una condición muy compleja de manejar.

La localización y la contaminación industrial causan significativas alteraciones en los materiales. Para resolver estos problemas de corrosión, se debe consultar con especialistas en corrosión.

El efecto del contacto entre diferentes materiales, unido a un medio electrolítico ocasiona un incremento en la corrosión del metal más anódico, y decremento la corrosión en el metal más catódico.

El electrolito para la reacción puede ser el agua subterránea, el contenido de humedad en el suelo o incluso la condensación de humedad en la estructura o humedad retenidas en las grietas de la estructura.

Sistemas grandes de puesta a tierra pueden encontrarse inmersos en diferentes clases de suelo y por consiguiente sufrir problemas de corrosión que requerirán especial atención.

Con el fin de minimizar la corrosión en un SIPRA:

- Evitar el uso de metales inadecuados en ambientes agresivos;
- Evitar el contacto entre metales diferentes, de gran diferencia electroquímica o actividad galvaniza;
- Usar una adecuada sección transversal en los conductores, laminas de unión, terminales conductoras y abrazaderas para aseguraran su vida de servicio ante la corrosión.
- Proporcionar un adecuado llenado de material aislante en las uniones que no han sido soldadas para impedir la entrada de humedad.
- Tener en cuenta los efectos galvánicos de elementos metálicos que son unidos a los electrodos de tierra.
- Evitar diseños donde los productos de la corrosión natural del metal catódico (por ejemplo el cobre) choquen sobre platinas externas del SIPRA, tales como cobre metálico sobre un metal anódico (por ejemplo acero o aluminio).

Para estar conformes a lo anterior, las siguientes precauciones son citadas como ejemplos específicos:

- El mínimo espesor o diámetro de un cable debe ser 1,5 Mm. para el acero, aluminio, cobre, aleación cuprosa o aleación níquel/cromo/acero; 1,5
- Se recomienda un espacio de aislamiento donde el contacto entre metales diferentes estrechamente separados (en contacto) puedan causar corrosión, tales contactos no son necesariamente eléctricos;
- Los conductores de acero que no han sido protegidos deben ser galvanizados al fuego con 50 Micras de espesor.
- Los conductores de aluminio no deben ser enterrados directamente en la tierra, ni en o directamente en contacto con el concreto, amenos que sean completamente recubiertos con aislamientos durables.
- Se deben evitar uniones Cobre/aluminio donde quiera que sea posible. En caso de no ser así, las conexiones deben ser soldadas o hechas empleando una capa intermedia de lamina de AlCu
- Abrazaderas o cubiertas para los conductores de aluminio deben ser de metal similar y de una adecuada sección transversal para evitar fallas por condiciones de tiempo adversas.
- El cobre es propio para ser utilizado en la mayoría de casos como electrodos de puesta a tierra, excepto en ácidas, oxigenadas, amoniacal o sulfuras condiciones. Sin embargo, se debe recordar que se causaran daños galvánicos en materiales ferrosos. Esto puede requerir del consejo de especialistas en corrosión, particularmente cuando es usado un esquema de protección catódica.

- Para techos conductores y bajantes expuestas a gases agresivos de las chimeneas, debe poner especial atención a la corrosión e.g. a través del uso de grandes aleaciones de acero (>16,5 % Cr, >2 % Mo, 0,2 % Ti, 0,12 % to 0,22 % N);
- Acero inoxidable u otras aleaciones de níquel se pueden usar para cumplir con la misma resistencia a la corrosión. Sin embargo, en condiciones anaeróbicas, tales como arcilla, ellos se corroerán tan rápidamente como el acero se ablande.
- Las uniones entre acero, cobre o aleaciones de cobre en aire, si no son soldadas, deben ser completamente estañadas o cubiertas totalmente con una capa durable y resistente a la humedad.
- El cobre y las aleaciones de cobre están sujetas a esfuerzos por corrosión, roturas en humos amoniacales y estos materiales no deben ser usados para unir en estas aplicaciones específicas.
- En áreas marinas/costeras, todas las uniones conductoras deben ser soldadas o efectivamente y totalmente selladas

El acero inoxidable o los sistemas de puesta a tierra en cobre pueden ser conectados directamente al refuerzo del concreto.

Los electrodos de puesta a tierra en acero galvanizado en el suelo deben ser conectados al acero de refuerzo del concreto por un aislador spark gaps capaz de conducir una parte substancial de la corriente de rayo (véanse las Tabla 8 y 9 para la dimensión de los conductores de conexionado). Una conexión directa en el suelo podría incrementar significativamente el riesgo de corrosión. El uso del spark Gap debe estar conforme al numeral 6.2.

NOTA E.53 Son apropiados los Spark Gap con niveles de protección Up de 2,5 kV y un mínimo de limp de 50kA (10/350 micro segundos)

El acero galvanizado se debe usar como electrodos de puesta a tierra en el suelo solo cuando no son incorporadas partes de acero en el concreto.

Si tuberías metálicas son puestas en el suelo y son conectadas al sistema equipotencial y al sistema de puesta a tierra. Deben ser idénticos el material de las tuberías, donde estas son conductoras, y el material de los conductores del sistema de puesta a tierra. Las tuberías protegidas con un recubrimiento de pintura o asfalto, son tratados como si ellas no fueran aisladas. Cuando no se posible usar el mismo material, el sistema de tuberías debe ser aislado desde las secciones de la planta conectadas al sistema equipotencial por medio de secciones aislantes. Las secciones aisladas deben ser puenteadas por medio de spark gaps. El puenteo por spark gap también se debe realizar donde las piezas son aisladas por protección catódica para tuberías.

Los conductores con recubrimiento no deben ser instalados directamente en el concreto. Los conductores con revestimiento deben ser protegidos contra la corrosión por suministro de uniones anticorrosivos o por medio de recubrimiento por ajuste o presión. Los conductores pueden ser protegidos por un recubrimiento de PVC

Los conductores de acero en las puestas a tierra provenientes del concreto o de la tierra deben ser protegidas contra la corrosión en el punto donde hace contacto con el aire en una longitud de 0,3 m por medio de una envoltura anticorrosivo o revestimiento por presión. Para conductores en cobre o acero inoxidable lo anterior no es necesario.

Los materiales usados en las uniones entre los conductores enterrados deben tener un comportamiento idéntico ante la corrosión. La conexión con abrazaderas no son aceptadas excepto en casos donde tales conexiones son provistas con una protección contra la corrosión después de hacer la unión.

Las uniones soldadas deben ser protegidas contra la corrosión:

La experiencia muestra que:

- EL aluminio nunca debe ser usado como electrodo de puesta a tierra;
- Los conductores de acero con cubierta no son apropiados para ser usados como electrodos de puesta a tierra
- Los conductores de cobre con cubierta no deben ser usados en concreto ni en el suelo con alto contenido de calcio

#### **E.5.6.2.2 Metales en concreto**

El encruste de acero o acero galvanizado en concreto causa una estabilidad del potencial natural del metal, debido a la uniformidad alcalina del medio. Además el concreto es uniforme y de relativa alta resistividad del orden 200 Ohmios-metros.

Por consiguiente, las barras de refuerzo en concreto son considerablemente más resistentes a la corrosión que cuando están expuestos al aire, incluso si es conectado externamente a materiales de electrodo catódico.

El uso de acero de refuerzo como bajantes no plantea problemas significativos de corrosión con tal que los puntos de acceso de las terminales aéreas estén bien encapsulados, por ejemplo masilla epóxica de adecuado espesor.

Laminas de acero galvanizado como electrodos de puesta a tierra pueden ser instalados en concreto y conectado directamente a las varillas de acero de refuerzo. El cobre y el acero inoxidable en concreto también son aceptados y puede ser conectado directamente al acero de refuerzo.

Debido al potencial natural del acero en el concreto, los electrodos de puesta a tierra adicionales fuera del concreto deben ser hechos de cobre o acero inoxidable.

### **E.6 SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

#### **E.6.1 General**

Los requerimientos para el sistema de protección interna son dados en la Parte 6.

EL diseñador e instalador del SIPRA debe poner atención al factor que las mediciones dan en la

La protección interna contra rayos es el mismo para todos los niveles de protección excepto para las distancias de protección

Las medidas necesarias para la protección interna contra rayos exceden las medidas tomadas para la equipotencialización en sistemas de potencia AC en muchos de los casos debido a la gran variación de la corriente e incremento en función del tiempo en el caso de impacto de rayo.

NOTA E54 si la protección contra LEMP es considerada se debe tener en cuenta la norma IEC-62305-4

### E.6.1.1 Distancia de separación

Una adecuada distancia de separación, determinada por el numeral 6.3 debe ser mantenida entre el SIPRA externo y todas las partes conductoras conectada a la unión equipotencial de la estructura.

La distancia de separación puede ser evaluada por la ecuación 4 como se muestra en 6.3

La longitud de referencia  $l$  para el calculo de la distancia de separación  $s$  (véase el numeral 6.3), debe ser la distancia entre el punto de conexión a la unión equipotencial y el punto de proximidad a lo largo de la bajante. El techo y las bajantes deben seguir una ruta tan recta como sea posible para mantener la menor distancia de separación.

La Figura E.43 y la Figura E.44 ilustra como se mide la longitud crítica  $l$ , que es usada para el calculo de la distancia de separación  $s$ , de acuerdo con el numeral 6.3

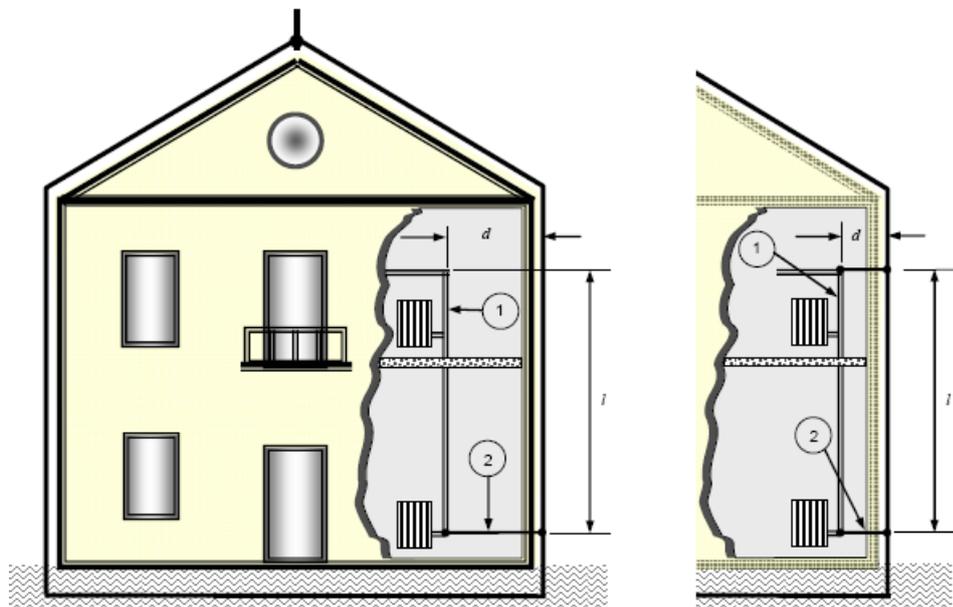


Figura E.43a. Calculo de la distancia de separación

$$s < d$$

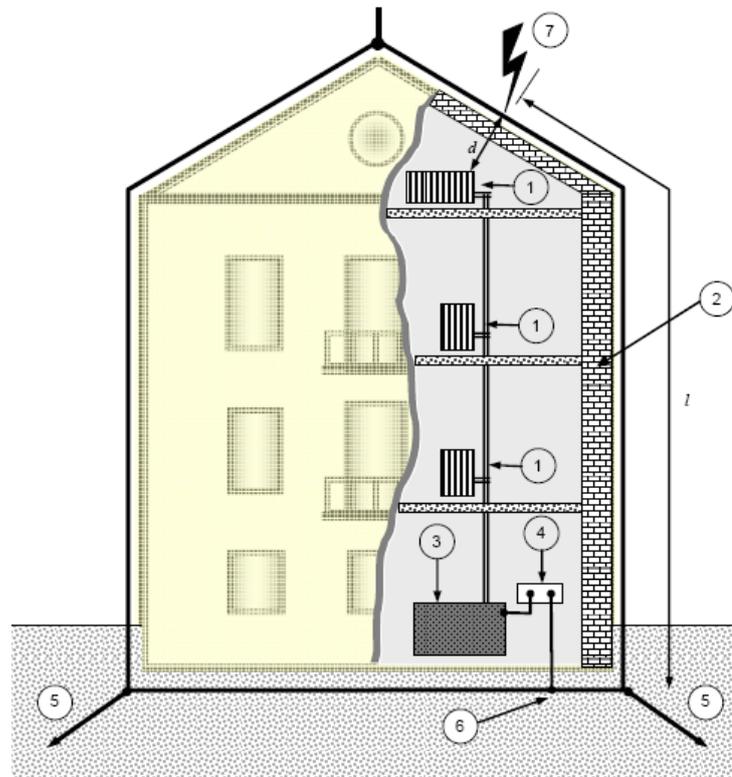
Figura E.43b. Calculo de la distancia de separación

$$s > d$$

- 1) tubería metálica
- 2) Unión equipotencial
- d Distancia entre la bajante y la instalación metálica dentro del edificio
- l Longitud para la evaluación de la distancia de separación  $s$
- s Distancia de separación de acuerdo con el numeral 6.3

NOTA E.55 Cuando la distancia entre la bajante y la instalación interna no puede ser aumentada por encima de la distancia de separación calculada, véase la Figura E.43b.

Figura E.43. Ejemplos de distancias de separación entre el SIPRA y las instalaciones metálicas



- 1) Radiador/Calentador Metálico
  - 2) Pared de ladrillo o madera
  - 3) Caldera
  - 4) Barrajes de Equipotencial
  - 5) Sistema de Puesta a Tierra
  - 6) Conexión al sistema de puesta a tierra o conductor bajante
  - 7) Caso más crítico
- d Distancia Actual
- l Longitud para evaluar la distancia de separación  $s$

NOTA E.56 La estructura está compuesta por ladrillos

**Figura E.44 Recomendaciones para calcular la distancia de separación  $s$  para el caso más crítico**

### Lightning Interception Point at a Distance/from the Reference Point According to 6.3

En estructuras donde las componentes del edificio son usadas como bajantes naturales, por ejemplo el acero de refuerzo del concreto, el punto de referencia debe ser el punto conectado a la bajante natural.

Las estructuras con superficies externas que no contiene elementos conductivos, tales como estructuras de madera y ladrillo, debe usar la distancia total a lo largo de los conductores de protección contra rayos  $l$  desde el mas desfavorable punto de impacto de rayo hasta el punto

donde el sistema equipotencial de la instalación interna es conectado a las bajantes y al sistema de puesta a tierra. Para el cálculo de la distancia de separación se da la Tabla 6.3

Cuando no es posible mantener la gran distancia superior a distancia de separación  $s$  a lo largo de la totalidad de la longitud de la instalación, se debe también realizar uniones de la instalación al SIPRA en el punto mas lejano apartar del punto de unión de referencia (Véase la Figura E.43b).

Por lo tanto, los conductores eléctricos deben ser re enrutados de acuerdo con los requerimientos de la distancia de separación (véase el numeral 6.3) o deben ser encerrados en un apantallamiento conductivo unido al SIPRA en el punto más lejano a partir del punto de referencia.

Cuando la unión de las instalaciones al SIPRA se realiza en el punto de referencia y el punto más distante, la distancia de separación se cumple a lo largo de toda la ruta de la instalación.

Los siguientes puntos a menudo son críticos y requiere una particular atención:

- En caso de grandes estructuras, la distancia de separación entre los conductores del SIPRA y las instalaciones metálicas son a menudo tan grandes que no pueden ser implementadas. Esto involucra uniones adicionales del SIPRA a esta instalación metálica. Por consiguiente, una porción de la corriente de rayo fluye por esta instalación metálica hasta el sistema de puesta a tierra de la estructura.
- La interferencia electromagnética ocurre como resultado de esta corriente parcial de rayo, se debe tomar en cuenta en el planeamiento de la instalación de la estructura y el diseño de las zonas de protección electromagnética contra rayos dentro de la estructura de acuerdo con la NTC 4552-4

Sin embargo, la interferencia será significativamente baja por causa de un arco eléctrico en este punto.

En el caso de los techos, la distancia entre el SIPRA y las instalaciones eléctricas es frecuentemente mas corta que la distancia de separación  $s$  dada en el numeral 6.3. Si este es el caso, se debe instalar el SIPRA o el conductor eléctrico en una ubicación diferente

Debe ser alcanzado un acuerdo con las personas responsables de la instalación eléctrica para realizar el nuevo enrute de los circuitos eléctricos que no estén de conformidad con la distancia de separación a los conductores de captación sobre la estructura.

Un acuerdo debe ser alcanzado con las personas responsables de la instalación eléctrica para llevar acabo el reenrutamiento de los circuitos eléctricos que no se ajustan con la distancia de separación a los conductores de terminales aéreas sobre la estructura.

Cuando la instalación eléctrica no puede ser enrutada de nuevo, la unión al SIPRA externo debe ser llevada a cabo afuera de acuerdo con el numeral 6.3

En algunas construcciones no es posible mantener la distancia de separación requerida. Construcciones internas pueden prevenir al diseñador o al instalador para evaluar situaciones y hacer conexiones en ciertas partes metálicas y a conductores eléctricos. Esto debe ser comunicado al propietario del edificio.

## **E.6.2 Lightning Equipotential Bonding (EB)**

### **E.6.2.1 Diseño**

En el caso de un SIPRA externo aislado, la unión equipotencial es realizada solo a nivel del suelo

En el caso de estructuras industriales, las partes con continuidad eléctrica de la estructura y el techo pueden ser usadas como componentes naturales del SIPRA.

Las partes conductoras de la estructura, y los equipos instalados allí dentro, pueden ser conectadas a la unión equipotencial, al igual que los conductores del sistema de potencia y equipos de comunicación. Para electrodos ubicados dentro de la estructura se debe tener especial cuidado para el control de las tensiones de paso. Las medidas incluyen la conexión al acero de refuerzo de concreto a los electrodos locales de puesta a tierra o por el suministro de la malla equipotencial en el sótano o bodega.

Para edificio con una altura mayor a 30 m, se recomienda repetir la unión equipotencial a un nivel de 20 m y cada 20 m por encima de este. Sin embargo, en todas las circunstancias la distancia de separación se debe mantener.

Esto significa que, en lo más bajo, las bajantes externas, las bajantes internas y las partes metálicas deben ser unidas. Los conductores vivos deben ser unidos vía DPS

#### **E.6.2.1.1 Conductores de unión**

Los conductores de unión deben ser capaces de resistir la parte de corriente de rayo que circula a través de ellos.

Los conductores de unión en instalaciones metálicas internos normalmente no transportan parte significativa de la corriente de rayo. Sus dimensiones mínimas son dadas en la Tabla 9

Los conductores de unión externos a las partes conductoras del SIPRA transportan usualmente parte de la corriente de rayo.

#### **E.6.2.1.2 Equipos protectores contra sobretensiones**

Los equipos protectores contra sobretensiones DPS deben resistir parte de la corriente del rayo que circule a través de ellos sin sufrir daños. Un DPS puede tener la capacidad de extinguir la potencia eléctrica ocasionada por la corriente del sistema de energía.

La selección del DPS debe estar de acuerdo con el numeral 6.2 donde es requerido un sistema de protección interna contra LEMP, los SPD deben estar conformes con la NTC 4552-4

### **E.6.2.2 Unión equipotencial de las partes conductoras internas**

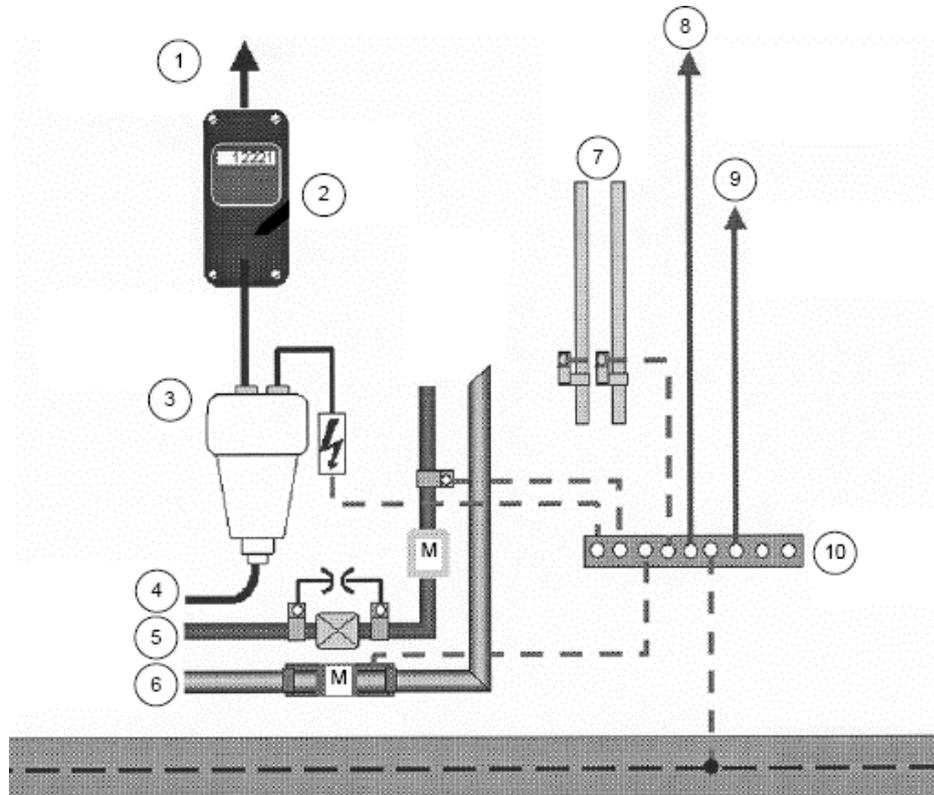
Las uniones deben ser instaladas de tal manera que las partes conductoras, las partes conductoras externas y los sistemas de comunicación y de potencia (por ejemplo computadores y sistemas de seguridad) pueden ser unidos por conductores cortos, y donde sea necesariamente utilizado los DPS

NOTA E.57 La unión debe estar conforme a (pr) EN 60364

Las instalaciones metálicas, por ejemplo tubería que transporta agua, gas, aire y calefacción, pozo de ascensores, soportes de grúa etc., deben ser unidas entre si y al SIPRA a nivel de piso.

Pueden ocurrir arcos en partes metálicas que no pertenezcan a la estructura si estas partes encierran las bajantes del SIPRA. En los lugares donde se consideran peligrosas, se deben tomar medidas especiales para evitar arcos de acuerdo con el numeral 6.2.

Un barraje equipotencial se muestra en la Figura E.45



- 1) Power to user
  - 2) Medidor de energía
  - 3) Caja de conexión
  - 4) Power from utility
  - 5) Gas
  - 6) Agua
  - 7) Sistema central de calefacción
  - 8) Equipos Electrónicos
  - 9) Pantalla del cable de antena
  - 10) Barraje para unión equipotencial
- M) Medidor

Figura E.45. Ejemplo de un arreglo de unión equipotencial

Las barras deben ser localizadas para que sean conectadas al sistema de puesta a tierra o al anillo horizontal con conductores cortos.

La barra equipotencial se instala preferiblemente en el lado interno de un muro externo cerca al nivel de tierra, encerrado en una caja de distribución para baja tensión y fuertemente conectada al sistema de puesta a tierra incluyendo el anillo de electrodos de puesta a tierra, electrodos de la fundación y los electrodos naturales tal como el acero de refuerzo.

En grandes edificios, varias barras equipotenciales pueden ser usadas con tal que ellas se interconecten.]

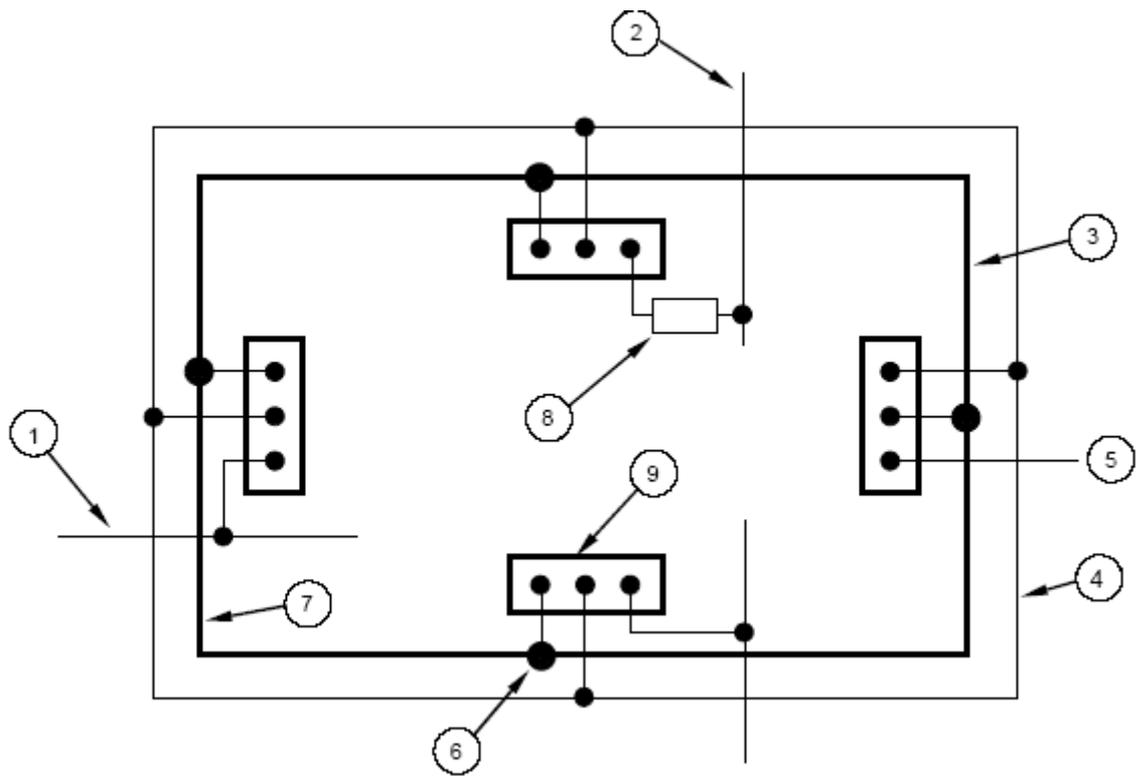
Las conexiones muy largas pueden formar grandes lazos que pueden conducir corrientes y voltajes inducidos. Para minimizar estos efectos, deben estar de acuerdo con la NTC 4552-4 la interconexión enmallada de estas conexiones, la estructura y el sistema de puesta a tierra de

En estructuras de concreto reforzado conforme al numeral 4.3 el refuerzo puede ser usado para la unión equipotencial. En este caso, una red adicional enmallada de uniones terminales soldadas o aseguradas como se describe en el numeral E.4.3, deben ser instaladas en los muros, para que las barras equipotenciales deban ser conectadas a los conductores por soldadura.

La sección mínima transversal para un conductor equipotencial o conector es dada en la Tabla 8 y 9. Todas las partes conductoras internas de tamaño significativo, tales como los rieles del ascensor, grúas, pisos metálicos, tuberías y servicios eléctricos, deben ser unidos al barraje equipotencial mas cercana por medio de un conductor corto a nivel de tierra y en otros niveles si no están de acuerdo con el numeral 6.3 no se puede realizar. Los barrajes equipotenciales y las otras partes deben resistir las posibles corrientes de rayo.

En estructuras con muros reforzados solo una fracción menor de la corriente total de rayo es esperada para fluir a través de las uniones.

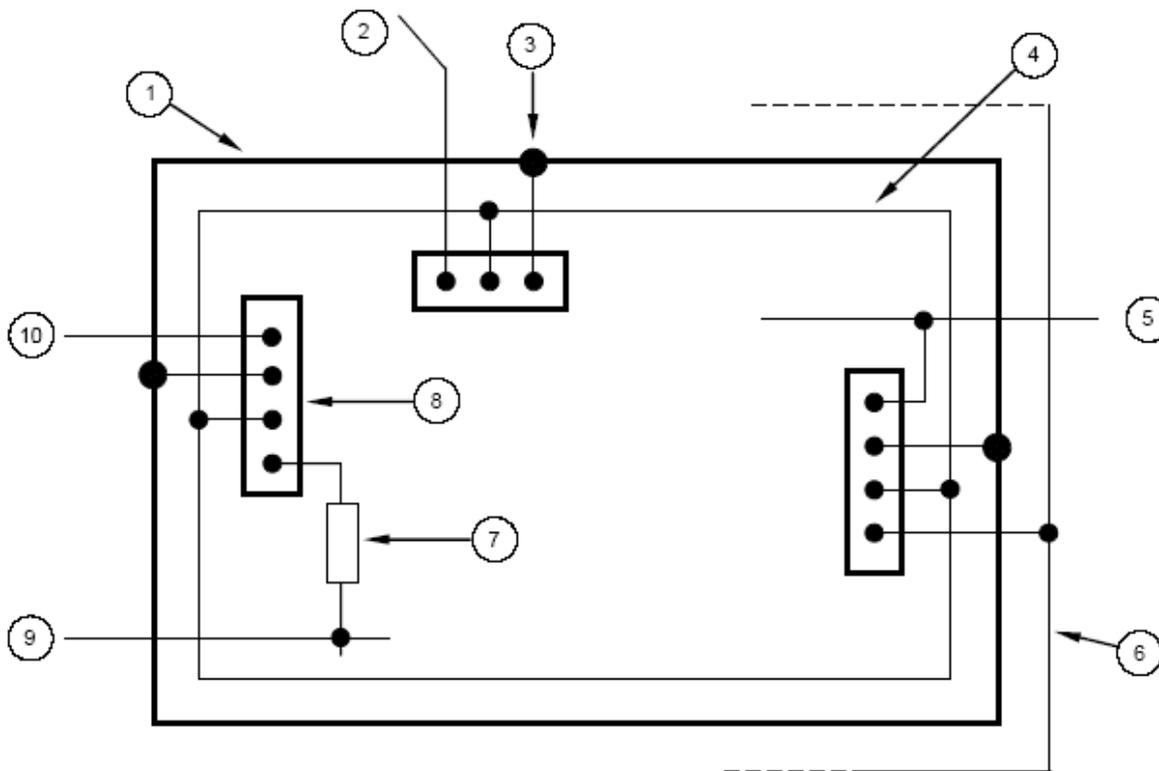
Las Figuras E.46, E.47 y E.48 ilustran los arreglos de uniones en estructuras con múltiples puntos de entrada de servicios externos



- 1) Parte conductora externa, e.g. tubería para agua metálica
- 2) Línea de energía eléctrica o comunicaciones
- 3) Refuerzo de acero de los muros externos de concreto y fundación
- 4) Electrodo de puesta a tierra en anillo
- 5) A un electrodo de puesta a tierra adicional
- 6) Unión especial
- 7) Muro de concreto con acero de refuerzo, véase el numeral 3
- 8) DPS
- 9) Barraje equipotencial

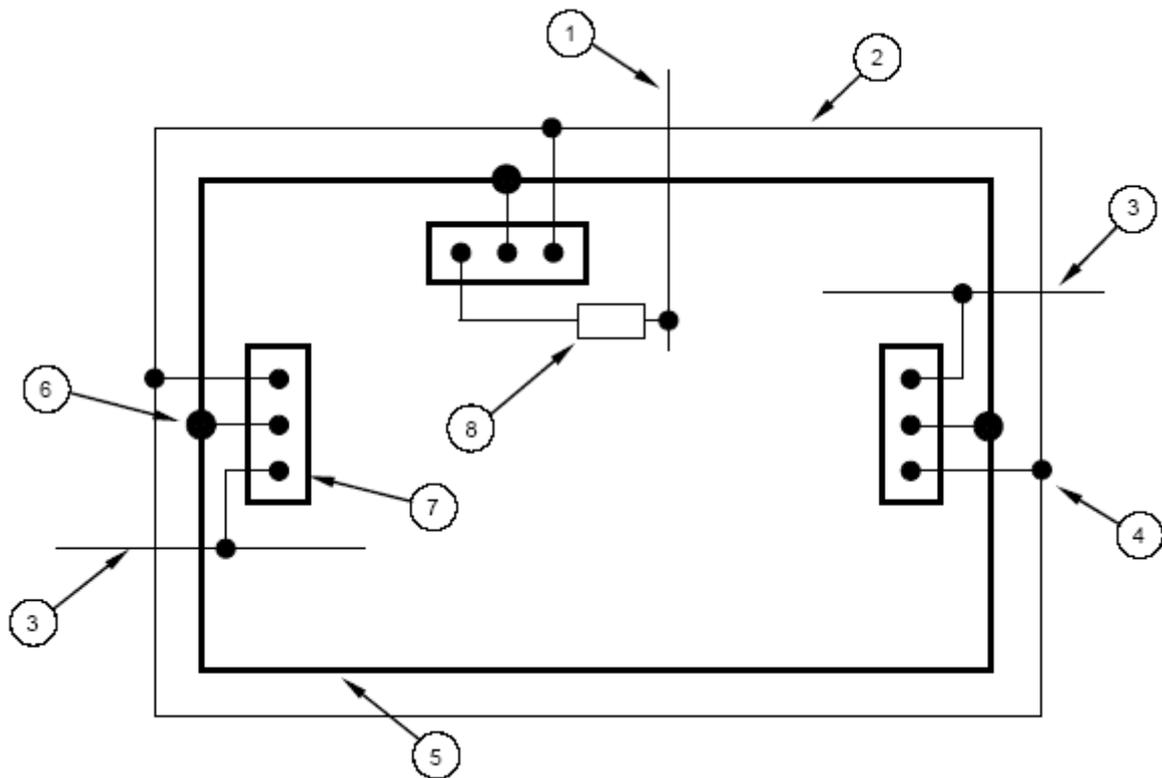
NOTA D58 El acero de refuerzo en la fundación se usa como electrodo natural de puesta a tierra

**Figura E.46 Ejemplo de un arreglo equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de partes conductoras externas usando un electrodo tipo anillo para conectar a los barrajes equipotenciales**



- 1) Refuerzo de acero de los muros externos de concreto y fundación
- 2) Otros electrodos de puesta a tierra
- 3) Unión equipotencial
- 4) Anillo interno
- 5) a partes conductoras externas, por ejemplo tubería para aguas
- 6) Electro en anillo, agregó Tipo B
- 7) DPS
- 8) Barraje equipotencial
- 9) Línea de energía eléctrica o comunicaciones
- 10) Para adicionar al electrodo de tierra, arreglo Tipo A

**Figura E.47. Ejemplo de equipotencialidad en el caso de múltiples puntos de entrada de partes conductoras externas, líneas de energía o de comunicaciones que usan un anillo interno conductor para la interconexión de los barrajes equipotenciales.**



- 1) Línea de energía eléctrica o comunicaciones
- 2) Anillo conductor horizontal externo (por encima de tierra)
- 3) Partes externas conductoras
- 4) Unión de bajantes
- 5) Acero de refuerzo en el muro
- 6) Equipotencialidad al acero de la construcción
- 7) Barraje equipotencial
- 8) DPS

Figura E.48. Ejemplo de un arreglo equipotencial en una estructura con múltiples puntos de entrada de partes externas conductoras entrando por encima del nivel de tierra

### E.6.2.3 Unión equipotencial para partes conductoras externas

No hay información disponible

### E.6.2.4 Unión equipotencial para sistemas eléctricos y electrónicos dentro de estructuras a ser protegidas

Detalles de uniones equipotenciales para sistemas internos están dados con la NTC 4552-4.

### **E.6.2.5 Unión equipotencial de servicios externos**

Es preferible que las partes conductoras externas y las líneas de comunicaciones y de potencia pueden entrar a la estructura cerca al nivel de piso en un sitio común. La unión equipotencial deber ser realizada tan encerrada como sea posible en el punto de entrada dentro del edificio. En el caso de suministro de energía de baja tensión esto es inmediatamente aguas debajo de la caja de entrada de servicios (sujeto a aprobación de la compañía de energía local).

El baraje equipotencial en este sitio común de entrada se debe conectar con conductores cortos al sistema de puesta a tierra

Si los servicios de entrada al edificio son líneas apantalladas, los apantallamientos deben ser conectadas al barraje equipotencial. El sobrevoltaje alcanzado en los conductores activos es función de la magnitud de la corriente parcial sobre la pantalla. (De acuerdo al Anexo B) y la sección transversal de la pantalla. El Anexo E de la norma IEC 62305-1 da un método para estimar esta corriente. Los DPS son necesarios si los sobrevoltajes exceden la especificación de la línea y de los objetos conectados.

Si los servicios de entrada al edificio no son apantallados, la corriente parcial de rayo fluirá en los conductores activos. En este caso, los DPS con capacidades soportar la corriente de rayo debe ser

Ubicados en el punto de entrada. Los conductores PE o PEN pueden ser conectados directamente al barraje equipotencial.

Cuando las partes conductoras externas, las líneas de los sistemas de energía y comunicaciones poseen entradas diferentes, por lo consiguiente se necesita instalar varios barrajes equipotenciales, estos deben ser conectados tan cerca como sea posible al sistema de puesta a tierra, por ejemplo al anillo de electrodos de puesta a tierra, los refuerzos del concreto en la estructura y a los electrodos de la fundación de la estructura donde esto sea aplicable

Cuando se utiliza un arreglo Tipo A de puesta a tierra como parte del SIPRA, los barrajes equipotenciales se deben conectar a los electrodos individuales y deben ser conectados por un anillo conductor interno o un conductor interno en forma de un semi anillo.

Para los servicios externos que entran en forma aérea, los barrajes equipotenciales se deben conectar al anillo horizontal interno o externo, si es aplicable, unirlos a las bajantes del SIPRA y al acero reforzado metálico de la estructura.

El anillo conductor debe ser conectado al acero de refuerzo, a otros elementos metálicos de la estructura y ciertas distancias entre las bajantes como se expone en la Tabla 4.

En edificios diseñados para centros de cómputo, edificios de comunicaciones y otras estructuras requieren de un bajo nivel de LEMP para los efectos de inducción, el anillo conductor se debe conectar al acero de refuerzo típicamente cada 5 m.

Para las uniones de los servicios externos en edificios con concreto reforzado que contiene grandes instalaciones de comunicación y computo, para estructuras donde la EMC demandada son severas, se debe usar una platina de tierra con múltiples conexiones al refuerzo metálico de la u otros elementos metálicos en la estructura.

### **E.6.3 Aislamiento eléctrico del SIPRA externo**

Una separación adecuada de acuerdo con el numeral 6.3 debe ser mantenida entre el SIPRA y todas las partes conductoras conectadas al barraje equipotencial de la estructura.

Para detalles véase el numeral E.6.1.1 para estructuras bajas algunos ejemplos y cálculos de  $K_c$  en el numeral 6.3 son dadas en la Figura E.2

### **E.6.4 Protección contra los efectos de corrientes inducidas en los sistemas internos**

Las corrientes en los conductores externos del SIPRA puede inducir excesivas sobre tensiones en los lazos de conductores en las instalaciones internas por el efecto del acople magnético. Las sobre tensiones pueden causar fallas en el sistema interno.

Ya que todos los edificios contienen equipos electrónicos, el efecto del campo electromagnético de las bajantes internas y externas debe ser tenido en cuenta en la planeación del sistema de protección contra rayos.

Medidas de protección contra sobretensiones son dadas en la NTC 4552-4

## **E.7 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DEL SIPRA**

### **E.7.1 Alcance de las inspecciones**

La inspección del SIPRA se debe guiada por especialistas en protección contra rayos de acuerdo con las recomendaciones de E.7.

El inspector se debe proveer de los reportes que contienen la documentación necesaria del diseño del SIPRA tales como criterios de diseño, descripción del diseño y planos técnicos. El inspector del SIPRA se debe proveer de los reportes de mantenimientos e inspección anteriores.

Todos los SIPRAS deben ser inspeccionados en las siguientes circunstancias:

- Durante la instalación del SIPRA, especialmente durante la instalación de los componentes que serán escondidos en la estructura y serán inaccesibles;
- Después de concluir la instalación del SIPRA
- Sobre criterios regulares de acuerdo a la Tabla D.2

**Tabla E.2 Máximo período entre inspecciones de un SIPRA**

<b>Nivel de Protección</b>	<b>Inspección Visual (año)</b>	<b>Inspección Completa (año)</b>	<b>Sistemas críticos Inspección completa (año)</b>
I y II	1	2	1
III y IV	2	4	1

NOTA Los sistemas de protección contra rayos utilizados en estructuras con alto riesgo de explosión deben ser inspeccionadas visualmente cada 6 meses. Las pruebas eléctricas deben ser realizadas una vez al año

Una excepción aceptable para la programación anual de pruebas puede ser realizarlas en ciclos de 14 o 15 meses donde se considera el beneficio de la conductividad de las pruebas de resistencia de puesta a tierra debido a su poca variación con el tiempo.

Las frecuencia de inspección dadas en la Tabla E.2 deben aplicarse donde no sean identificados los requerimientos por la autoridad correspondiente.

NOTA E.59 Si las autoridades nacionales o instituciones requieren de pruebas regulares del sistema eléctrico de una estructura, se recomienda probar el sistema de protección contra rayos con respecto a la función del sistema interno de protección, al mismo tiempo que la unión equipotencial de la protección contrarayos con el sistema eléctrico.

Al igual las instalaciones viejas deben ser relacionadas con la clase de protección contra rayos, los intervalos de las pruebas deben ser tomados de la región, y las especificaciones de las pruebas tales como guías de seguridad, regulaciones técnicas, instrucciones, seguridad industrial, y leyes de protección laboral.

El SIPRA debe ser inspeccionado visualmente al menos una vez al año. En algunas áreas donde ocurren grandes y graves cambios climáticos, es aconsejable inspeccionar visualmente el sistema más a menudo que lo indicado en la Tabla E.2. Donde el SIPRA forma parte del programa de mantenimiento planeado por el cliente, o es un requerimiento de la aseguradora, el SIPRA puede ser probado totalmente al año.

Los intervalos entre las inspecciones del SIPRA deben ser determinadas por los siguientes factores:

- La clasificación de la estructura protegida, especialmente con respecto a los efectos provenientes de los daños;
- Clase del SIPRA;
- El ambiente local, por ejemplo en un ambiente corrosivo se debe tener cortos intervalos entre inspecciones;
- Los materiales de los componentes individuales del SIPRA;
- EL tipo de superficie al cual se sujetan los componentes del SIPRA;
- La condición del suelo y las variaciones asociadas con la corrosión;

Además de lo anterior, un SIPRA debe ser inspeccionado siempre que cualquier significativa alteración o reparaciones sean hechas a la estructura a proteger y además siga algún conocimiento de descarga eléctrica al SIPRA

La totalidad de las inspecciones y pruebas deben ser realizadas cada dos a cuatro años. Los sistemas en condiciones ambientales críticas, por ejemplo partes expuesta del SIPRA a esfuerzos mecánicos severos tales como tiras de unión flexibles en presencia de grandes vientos, DPS sobre tubería, cables de unión externos, etc. deben tener inspección cada año . .

En la mayoría de las áreas geográficas, y especialmente en áreas que experimenten cambios temporales extremos en temperatura y lluvia, la variación de la resistencia de puesta a tierra debe ser tomada en cuenta por medidas de resistividad en diferentes periodos de climáticos.

Un mejoramiento del sistema de puesta a tierra se debe considerar cuando los valores de la medida de resistencia muestren grandes cambios con respecto a lo diseñado; especialmente cuando la resistencia incrementa constantemente entre inspecciones.

## **E.7.2 Métodos de inspección**

### **E.7.2.1 Procedimiento de inspección**

El propósito de esta inspección es garantizar que el SIPRA este de acuerdo con este estándar

La inspección incluye la verificación de la documentación técnica, inspecciones visuales, pruebas y registros en un reporte de inspección.

### **E.7.2.2 Chequeo de los documentos técnicos**

Los documentos técnicos deben ser revisados por integridad y conformidad de este estándar y de acuerdo con el plan ejecutado

### **E.7.2.3 Inspección visual**

La inspección visual deben ser realizadas para determinar que

- El diseño este conforme con este estándar,
- EL SIPRA esta en buena condición,
- No hay pérdidas de conexión y no hay roturas accidentales en las uniones y conductores del SIPRA
- Todas las conexiones visibles a tierra están intactas (funcionalmente en operación)
  - Todos los conductores visibles y componentes del sistema que son atados a las superficies y las componentes que dan protección mecánica estarán intactas (operacionalmente en funcionamiento) y en el lugar correcto.
  - Allí ninguna alteración o adición a la estructura protegida pueda ser requerida una protección adicional ,
  - Uniones conductoras y conexiones dentro de la estructura deben estar intactas (operacionalmente en funcionamiento)
  - Las distancias de separación son mantenidas,
  - Deben ser chequeadas y probadas las uniones conductoras, juntas, dispositivos apantallamiento, ruta de cables y DPS.

#### **E.7.2.4 Pruebas**

Las inspecciones y las pruebas en el SIPRA incluyen también las inspecciones visuales y debe ser completado con las siguientes acciones:

- Realizar pruebas de continuidad, especialmente continuidad en las partes del SIPRA que serán visibles para la inspección durante la instalación inicial y no estarán disponibles después para inspección visual.
- Las pruebas de resistencia del sistema de puesta a tierra. Los resultados de las mediciones de puesta a tierra y los chequeos deben ser escritos en los reportes de inspección del SIPRA

NOTA D60 La medida a alta frecuencia es posible en la etapa de la instalación así como para el mantenimiento del sistema de puesta a tierra el chequeo adecuado entre el sistema de puesta a tierra diseñado y el necesario.

- a) La resistencia de puesta a tierra en cada electrodo y donde sea razonable práctico la resistencia de puesta a tierra del sistema completo.

Cada electrodo local debe ser medido en forma individual en los puntos de prueba entre las bajantes y el electrodo de puesta a tierra desconectado (medida aislada)

Si la resistencia de puesta a tierra como un todo excede los 10  $\Omega$ , una revisión debe ser realizada para determinar que los electrodos cumplen con la Figure 2

Si hay un incremento significativo en el valor de la resistencia de puesta a tierra, investigaciones adicionales deben ser hechas para determinar la razón del incremento y tomar medidas para mejorar la situación.

Para electrodos de puesta a tierra en suelo rocosos, se deben seguir los requisitos del numeral E.5.4.3.5. Los 10  $\Omega$  recomendados no se aplican en este caso.

- b) Los resultados del chequeo visual de todos los conductores, uniones o su medida de unión de continuidad eléctrica

Si el sistema de puesta a tierra no está conforme a estos requerimientos, o revisando los requerimientos no son posibles por falta de información, Los sistemas de puesta a tierra

Deben ser mejorados por la instalación extra de electrodos o por la instalación de un nuevo sistema de puesta a tierra.

#### **E.7.2.5 Documentos de la inspección**

Las guías de inspección del SIPRA deben ser preparadas para facilitar su inspección. Ellas pueden contener suficiente información para guiar los procesos de inspección para que todas las áreas importantes sean documentadas tales como el método de instalación del SIPRA, el tipo y condiciones de los componentes del SIPRA, métodos de prueba y los reportes de los datos obtenidos de dichas pruebas.

EL inspector debe resumir el reporte del SIPRA, que debe ser mantenida junto con el reporte del diseño del SIPRA y compilado previamente los reportes de mantenimiento e inspección del SIPRA

EL reporte de la inspección del SIPRA debe contener la siguiente información:

- Condiciones generales de los conductores de las terminales aéreas, y otros componentes de las terminales;
- Nivel general de corrosión y la condición de la protección contra corrosión;
- Seguridad de las uniones de los conductores y componentes del SIPRA
- Medidas de resistencia de los sistemas de puesta a tierra
- Alguna desviación de los requerimientos de este estándar
- Documentación de todos los cambios y extensiones del SIPRA y cualquier cambio en la estructura. Además, los planos del SIPRA y la descripción del diseño del SIPRA debe ser revisados.
- Los resultados de las pruebas realizadas

### **E.7.3 Mantenimiento**

EL SIPRA debe regularmente ser mantenido para garantizar que no se deteriore y debe seguir cumpliendo con los requerimientos para los cuales fueron diseñados. EL diseño de un SIPRA debe determinar la necesidad del mantenimiento y ciclo de inspección de acuerdo a la Tabla 2.

EL programa de mantenimiento del SIPRA debe garantizar una continua actualización del SIPRA para el corriente problema de este estándar.

#### **E.7.3.1 Observaciones generales**

Los componentes del SIPRA tienden a perder su efectividad después de los años debido a la corrosión, daños relacionados con el tiempo, daños mecánicos y daños ocasionados por rayos.

La inspección y programas de mantenimiento deben ser especificados por una autoridad, el diseñador e instalador del SIPRA, junto con el propietario de la estructura o un representante

Para llevar a cabo el trabajo de mantenimiento y para realizar las inspecciones de un SIPRA los dos programas, la inspección y mantenimiento deben estar coordinados.

El mantenimiento de un SIPRA es importante incluso aun cuando el diseñador haya tomado precauciones especiales adicionales a los requisitos del estándar, tales como protección adicional contra la corrosión y sobre dimensionamiento de los componentes del SIPRA de acuerdo a su nivel de exposición contra rayos y a factores ambientales.

Las características mecánicas y eléctricas de un SIPRA deben ser mantenerse totalmente a través de la vida útil del SIPRA, con el fin de ajustarse a los requerimientos de este estándar.

Puede ser necesario modificar el SIPRA, si las modificaciones se llevan a cabo sobre la edificación, sobre sus equipos o si es alterado el propósito para el cual el utilizado el edificio.

Si una inspección muestra que las reparaciones son necesarias, estas deben ser realizadas sin retraso y no ser pospuestas hasta el próximo ciclo de mantenimiento.

### **E.7.3.2 Procedimiento para el mantenimiento**

Los programas periódicos de mantenimiento deben ser establecidos para todo SIPRA

La frecuencia depende del siguiente:

- Tiempo y medio ambiente relacionado con la degradación
- Exposición a los daños ocasionados por el rayo
- Los niveles de protección asignados a la estructura

Los procedimientos del mantenimiento del SIPRA deben ser establecidos para cada SIPRA en particular y debe llegar a ser una parte de todo el programa de mantenimiento de la estructura.

Un programa de mantenimiento debe contener una lista de elementos de rutina que sirvan como lista de chequeo que define los procedimientos de mantenimiento para seguir regularmente con el fin de hacerlo posible para comparar los resultados recientes con los resultados anteriores.

EL programa de mantenimiento debe tener:

- Verificación de todo el SIPRA y componentes del sistema
- Verificación de la continuidad eléctrica de la instalación del SIPRA
- Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra
- Verificación de los DPS;
- Re-asegurar los componentes y conductores
- Verificación para asegurar la efectividad del SIPRA que no se haya reducido después de adiciones o cambios en la estructura y sus instalaciones.

### **E.7.3.3 Documentación del mantenimiento**

El reporte completo debe guardar todos los procedimientos de mantenimiento y debe incluir las acciones correctivas y requeridas a tomar.

Los reportes del procedimiento de mantenimiento deben dar el medio para evaluar los componentes y su instalación del SIPRA

El reporte del mantenimiento del SIPRA debe servir como base para revisar sus procedimientos así como para la actualización de los programas de mantenimiento. Los reportes de mantenimiento del SIPRA deben ser llevados junto con el diseño y los reportes de inspección del SIPRA.

REFERENCIAS

IEC 60050(426):1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 426: Electrical Apparatus for Explosive Atmospheres*

IEC 61000-5-2, *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 5: Installation and Mitigation Guidelines – Section 2: Earthing and Cabling*

IEC 61643-1:2005, *Low-voltage Surge Protective Devices – Part 1: Surge Protective Devices Connected to low-voltage Power Distribution Systems. Requirements and Tests.*

EN 50164 (All Parts), *Lightning Protection Components (LPC)*

EN 50164-1:1999, *Lightning Protection Components (LPC) – Part 1: Requirements for Connection Components*

PREPARADO POR: \_\_\_\_\_  
FRANCY M. RAMÍREZ TORRES

grr.