



**ANTEPROYECTO
ANT-NMX-J-549-ANCE-2005**

**SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS –
ESPECIFICACIONES, MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN**

P R E F A C I O

La presente Norma Mexicana, fue elaborada por el Subcomité de Pararrayos, SC PIE-H, perteneciente al Comité Técnico Productos y Accesorios para Instalaciones Eléctricas del Comité de Normalización de la Asociación de Normalización y Certificación A.C., con la participación de las Instituciones y Empresas siguientes:

- AMESA
- ANPASA
- ATERRIZAJES ELECTROSTÁTICOS
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- ENERGÍA Y CREATIVIDAD
- ERICO
- FRANKLIN FRANCE
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
- LAPEM
- LUZ Y FUERZA DEL CENTRO
- PARRES
- SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL / DGSST
- VALDEZ INGENIEROS

ÍNDICE DEL CONTENIDO

	Página
0 INTRODUCCIÓN.....	1
1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN	1
2 REFERENCIAS.....	2
3 DEFINICIONES	2
4 ESPECIFICACIONES	6
5 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS CON PELIGRO DE FUEGO Y/O EXPLOSIÓN	31
6 MATERIALES.....	31
7 VERIFICACIÓN, ACTIVIDADES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS	31
APÉNDICE A	31
APÉNDICE B	31
APÉNDICE C	31
APÉNDICE D	31
8 BIBLIOGRAFÍA	31
9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES	31
APÉNDICE E	31
APÉNDICE F.....	31
APÉNDICE G	31

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS - ESPECIFICACIONES, MATERIALES Y METODOS DE MEDICIÓN

PROTECTION AGAINST LIGHTNING – SPECIFICATIONS, MATERIALS AND METHODS OF MEASURE

0 INTRODUCCIÓN

Un sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTE) diseñado e instalado con las especificaciones indicadas en esta Norma Mexicana, reduce el **riesgo de daño** que puede provocar un rayo. Sin embargo, su aplicación no garantiza una protección absoluta a personas, estructuras u objetos.

El conocimiento actual de la física de la descarga eléctrica atmosférica a tierra, establece que un SPTE no tiene la capacidad de influir o evitar los procesos de formación del rayo o descarga eléctrica a tierra de origen atmosférico.

Esta Norma Mexicana considera la aplicación de un sistema de protección integral, compuesto por un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE) el cual está formado por elementos para interceptar, conducir y disipar la **corriente de rayo**; y un **sistema interno de protección contra tormentas eléctricas** (SIPTE) basado en uniones equipotenciales, blindaje electromagnético, puesta a tierra y protección contra transitorios.

Es recomendable que el diseño del **sistema de protección contra tormentas eléctricas** sea parte integral del proyecto de instalación eléctrica de una estructura, edificio o instalación, ya que éste permite reducir costos, utilizar racionalmente los recursos y mantener un arreglo entre los elementos del **sistema de protección contra tormentas eléctricas**. Estas ventajas inherentes, pueden no tenerse cuando se diseñan sistemas de protección contra tormentas eléctricas en estructuras o edificios existentes.

Por lo tanto, para garantizar el óptimo aprovechamiento de las partes o elementos de la instalación, es recomendable que exista una fluida comunicación entre el diseñador del **sistema de protección contra tormentas eléctricas**, los arquitectos, constructores y verificadores de instalaciones eléctricas.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta Norma Mexicana establece las especificaciones, diseño, materiales y métodos de medición del sistema integral de protección contra tormentas eléctricas, para reducir el **riesgo de daño** para las personas, seres vivos, estructuras, edificios y su contenido.

1.2 Esta Norma Mexicana aplica para:

- a) Estructuras y edificios de uso común;
- b) Estructuras y edificios con riesgo de fuego y explosión;
- c) Estructuras y edificios con equipo sensible;
- d) Estructuras y edificios de cualquier altura; y

- e) Torres de telecomunicaciones con equipos y antenas asociadas.
- 1.3 Esta Norma Mexicana no aplica a lo siguiente:
- a) Sistemas de transporte de ferrocarril;
 - b) Subestaciones eléctricas de alta tensión a la intemperie y líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica;
 - c) Vehículos terrestres (automotores, ferroviarios, eléctricos), embarcaciones marítimas y aeronaves;
 - d) Estructuras costa afuera.

2 REFERENCIAS

Para la correcta utilización de esta Norma Mexicana deben aplicarse las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas vigentes siguientes o las que las sustituyan:

NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida.
NOM-001-SEDE-1999	Instalaciones Eléctricas (Utilización).
NMX-B-301-1986	Industria Siderúrgica – Barras de acero al carbón.
NMX-J-058-ANCE-2001	Conductores – Cable de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero
NMX-J-215-ANCE-2001	Conductores – Alambrón de cobre electrolítico para usos eléctricos – especificaciones y métodos de prueba.
NMX-J-534-ANCE-2001	Tubos (conduit) de acero tipo pesado para la protección de conductores eléctricos y sus accesorios – especificaciones y métodos de prueba.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Mexicana se establecen las definiciones siguientes:

3.1 ángulo de protección: espacio adyacente a una terminal aérea (horizontal o vertical) que es sustancialmente inmune a sufrir la incidencia de un rayo directo.

3.2 arcos eléctricos peligrosos: descarga eléctrica inaceptable causada por la corriente de rayo entre elementos ubicados dentro del espacio a protegerse.

3.3 área equivalente de captura (A_e): área sobre la superficie del suelo, que tiene la misma frecuencia anual de rayos directos de una estructura.

3.4 armado de acero interconectado: partes de acero dentro de la estructura considerada como eléctricamente continuas.

3.5 barra de unión: elemento metálico utilizado para conectar partes metálicas (pertenecientes a la instalación o ajenas a ella), líneas eléctricas y de comunicaciones y otros cables a un SPTE.

3.7 componentes naturales de un SPTE: elementos metálicos instalados, no específicamente diseñados para proveer protección contra rayos, los cuales pueden cumplir la función de una o más partes del SPTE.

NOTAS

Ejemplos en el uso de estos términos son:

- 1 Terminales aéreas naturales
- 2 Conductores de bajada naturales
- 3 **Electrodo de puesta a tierra natural**

3.8 conductor de bajada: elemento metálico de unión que proporciona una trayectoria de baja impedancia desde las terminales aéreas hasta el **sistema de puesta a tierra**.

3.9 conductor de unión: elemento metálico utilizado para realizar las conexiones entre las partes metálicas a conectarse y la barra de unión.

3.10 corriente de rayo (i): aquella que circula al **punto de incidencia**, asociada con el **impulso de retorno**.

3.11 corrosión de metales: desintegración gradual de los materiales metálicos, debido a la interacción con el medio que lo rodea y puede ser galvánica o química.

3.12 densidad de rayos a tierra: número de rayos promedio por km^2 por año en un lugar determinado.

3.13 distancia crítica de rompimiento o último paso de la descarga: distancia entre la punta del **líder escalonado descendente** del rayo y la punta de la terminal aérea de intercepción, cualquier objeto sobre tierra o el nivel del suelo, justo antes de presentarse el arco de rompimiento que da lugar a la **corriente de rayo** de retorno. Esta distancia corresponde al radio adoptado de la esfera rodante como parámetro de diseño.

3.14 distancia de seguridad: espacio mínimo requerido entre dos partes conductoras dentro del espacio a protegerse, para evitar la generación de **arcos eléctricos peligrosos**.

3.15 duración del rayo (T): intervalo de tiempo en el que circula la **corriente de rayo** desde su inicio en la nube hasta el **punto de incidencia**.

3.16 eficiencia de un SPTE: parámetro asociado con el **nivel de protección** que determina la capacidad de protección del blindaje para ofrecer puntos de impacto a la **corriente de rayo**.

3.17 electrodo de puesta a tierra: parte de un **sistema de puesta a tierra** que suministra un contacto eléctrico directo con la tierra con el fin de disipar la **corriente de rayo**.

3.18 electrodo de puesta a tierra anillado: **electrodo de puesta a tierra** con una trayectoria cerrada alrededor de la estructura, edificio o instalación, debajo o sobre la superficie de la tierra.

3.19 elemento de unión: pieza metálica que sirve para efectuar la unión de uno o más elementos metálicos, con propiedades eléctricas y mecánicas adecuadas.

3.20 energía específica (W/R): energía disipada por la **corriente de rayo** en una resistencia unitaria. Es la integral de tiempo del cuadrado de la **corriente de rayo** para el tiempo total de la **corriente de rayo**.

3.21 espacio a proteger: parte de una estructura o región donde se requiere una protección contra el efecto de las tormentas eléctricas.

3.22 estructuras comunes: son aquellas estructuras utilizadas para propósitos considerados como ordinarios, ya sea comercial, industrial, rural, institucional o residencial.

3.23 estructuras no comunes: estructuras utilizadas para propósitos considerados como no ordinarios, tales como torres de telecomunicaciones, estructuras costa afuera y estructuras con riesgo de fuego y explosión.

3.24 frecuencia anual permitida de rayos directos: frecuencia anual permitida de rayos que pueden causar daño a la estructura.

NOTA - Por ejemplo, una frecuencia de rayo aceptado de 1 rayo cada 10 años tendrá un riesgo mayor que una frecuencia de 1 rayo cada 20, 50 ó 100 años. A mayor el intervalo de años, menor el riesgo de rayo directo sobre la instalación, edificio o estructura.

3.25 frecuencia de rayo directo a una estructura: número anual promedio esperado de rayos directos a una estructura.

3.26 impulso (rayo) de retorno: proceso súbito de neutralización de la carga de la nube a través de un flujo de electrones en el canal ionizado del **líder escalonado descendente**. Este impulso de retorno puede ser único o repetirse varias veces, con una duración total menor que 1 s.

3.27 instalaciones metálicas: partes de metal ubicadas en el **espacio a protegerse**, las cuales pueden formar parte de la trayectoria de la **corriente de rayo**.

NOTA - Ejemplos de estas partes metálicas son: tuberías, escaleras, riel guía para elevadores, ventilación, ductos para calefacción y aire acondicionado, y piezas del armado de acero conectados.

3.28 líder escalonado ascendente: canal ionizado a través del cual se realiza el movimiento de la carga inducida en tierra (o algún objeto metálico sobre tierra) hacia la punta del líder descendente y está formado por descargas discontinuas en el aire. El líder ascendente es de polaridad opuesta a la carga del líder descendente.

NOTA - El **líder escalonado ascendente** es algunas veces referido simplemente como líder ascendente.

3.29 líder escalonado descendente: canal ionizado a través del cual se realiza el movimiento de la carga de la nube a tierra y está formado por descargas discontinuas en aire.

NOTA - El **líder escalonado descendente** es algunas veces referido simplemente como líder descendente.

3.30 nivel de protección: término que denota la clasificación de un SPTE, de acuerdo con su eficiencia.

NOTA - El **nivel de protección** expresa la efectividad de un SPTE para proteger un espacio contra los efectos del rayo.

3.31 probabilidad de daño: posibilidad de que la **corriente de rayo** cause daño a la estructura, edificio o instalación.

3.32 punto de incidencia: punto en donde el rayo hace contacto con la tierra, a una estructura o a los elementos constitutivos de un **sistema de protección contra tormentas eléctricas**.

NOTA - Un rayo puede tener uno o más puntos de incidencia.

3.33 rayo de nube a tierra: descarga eléctrica de origen atmosférico entre la nube y tierra con uno o más impulsos de retorno.

NOTA - En lo sucesivo, la palabra rayo tendrá el significado de un **rayo de nube a tierra**.

3.34 registro para prueba: punto accesible del sistema de puesta a tierra, SPT, para realizar actividades de verificación, medición y mantenimiento.

3.35 resistividad superficial: resistividad promedio de la capa superficial del suelo.

3.36 riesgo de daño: probables pérdidas anuales promedio (humanas o materiales) en una estructura debido a los efectos del rayo.

3.37 sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTE): conjunto de elementos utilizados para proteger un espacio contra el efecto de las tormentas eléctricas. Este conjunto está compuesto tanto de un sistema externo como de un sistema interno de protección.

3.38 sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTÉ): conjunto de elementos para interceptar (terminales aéreas), conducir (conductores de bajada) y disipar (red de puesta a tierra) en forma eficiente la **corriente de rayo**.

3.39 sistema externo de protección contra tormentas eléctricas aislado (SEPTÉ aislado): conjunto de elementos, para interceptar (terminales aéreas), conducir (conductores de bajada) y disipar (red de puesta a tierra), arreglados de tal manera que los dos primeros elementos no tengan contacto eléctrico con la estructura a proteger.

3.40 sistema externo de protección contra tormentas eléctricas no aislado (SEPTÉ no aislado): conjunto de elementos, para interceptar (terminales aéreas), conducir (conductores de bajada) y disipar (red de puesta a tierra), arreglados de tal manera que los dos primeros elementos tengan contacto eléctrico con la estructura a proteger.

3.41 sistema interno de protección contra tormentas eléctricas (SIPTE): sistema formado por todas aquellas medidas de protección que permiten reducir el **riesgo de daño** a personas, instalaciones y su contenido, mediante la puesta a tierra, unión equipotencial, blindaje electromagnético, y supresores para sobretensiones.

3.42 sistema de terminales aéreas: conjunto de elementos aéreos cuya finalidad es ofrecer un punto de sacrificio (contacto) para la incidencia del rayo.

3.43 sistema de conductores de bajada: conjunto de elementos cuya función es conducir la **corriente de rayo** desde las terminales aéreas hasta el **sistema de puesta a tierra**.

3.44 sistema de puesta a tierra (SPT): sistema formado por elementos enterrados en el suelo cuya función es conducir y disipar la **corriente de rayo** a tierra. Este sistema forma parte del SEPTÉ y del SIPTE.

3.45 supresor de sobretensiones transitorias (SSTT): dispositivo destinado a proteger al equipo eléctrico y electrónico sensible, limitando las sobretensiones y las sobrecorrientes transitorias causadas

por efectos de las descargas eléctricas atmosféricas o las provocadas por maniobras en las redes de distribución eléctrica y operación de equipo eléctrico interno para una tensión máxima de 600 V.

NOTA - Este dispositivo es conocido como supresor de picos, supresor de transitorios, supresor de sobretensiones o **supresor de sobretensiones transitorias** (TVSS, SPD). Existen supresores para corriente alterna, corriente continua, radio frecuencia, entre otros.

3.46 tormenta eléctrica: actividad atmosférica caracterizada por la presencia de rayos, ya sea que terminen en tierra (rayos de nube a tierra) o que no terminen en tierra (rayos entre nubes o a nivel de nube).

3.47 terminales aéreas: elementos aéreos metálicos cuya función es recibir la descarga del rayo, ofreciendo un punto de incidencia y un camino controlado para la conducción y disipación posterior de la **corriente de rayo** a tierra, con el fin de evitar la incidencia directa a una parte vulnerable de la estructura a protegerse.

3.48 unión equipotencial (UE): es aquella unión correspondiente a la parte de un SPTE cuyo fin es reducir las diferencias de potencial causadas por la circulación de la **corriente de rayo**.

3.49 valor pico de corriente de rayo (I): máximo valor de la **corriente de rayo**.

3.50 valor promedio de la pendiente de la corriente de rayo (di/dt): diferencia entre los valores de la **corriente de rayo** al inicio y al final de un intervalo de tiempo específico $[i(t_2)-i(t_1)]$ dividido entre el intervalo de tiempo $[t_2-t_1]$.

4

ESPECIFICACIONES

4.1 Generalidades

Las tres partes fundamentales para la aplicación de la Norma Mexicana son las siguientes:

- 1) Valoración de riesgo, véase 4.2.
- 2) Diseño del sistema externo de protección, SEPTE, véase 4.3; y
- 3) Diseño del sistema interno de protección, SIPTE, véase 4.4.

Para la aplicación de la presente Norma Mexicana debe seguirse el diagrama de flujo indicado en la figura 1. El **sistema de protección contra tormentas eléctricas**, SPTE, está formado por un sistema externo de protección SEPTE y un sistema interno de protección SIPTE.

Sin embargo, el SPTE puede estar formado exclusivamente por el SIPTE cuando los resultados obtenidos en la valoración de riesgo indiquen que la instalación del SEPTE puede omitirse. El contenido de la memoria técnica del SPTE debe obtenerse siguiendo los pasos indicados en la figura 1.

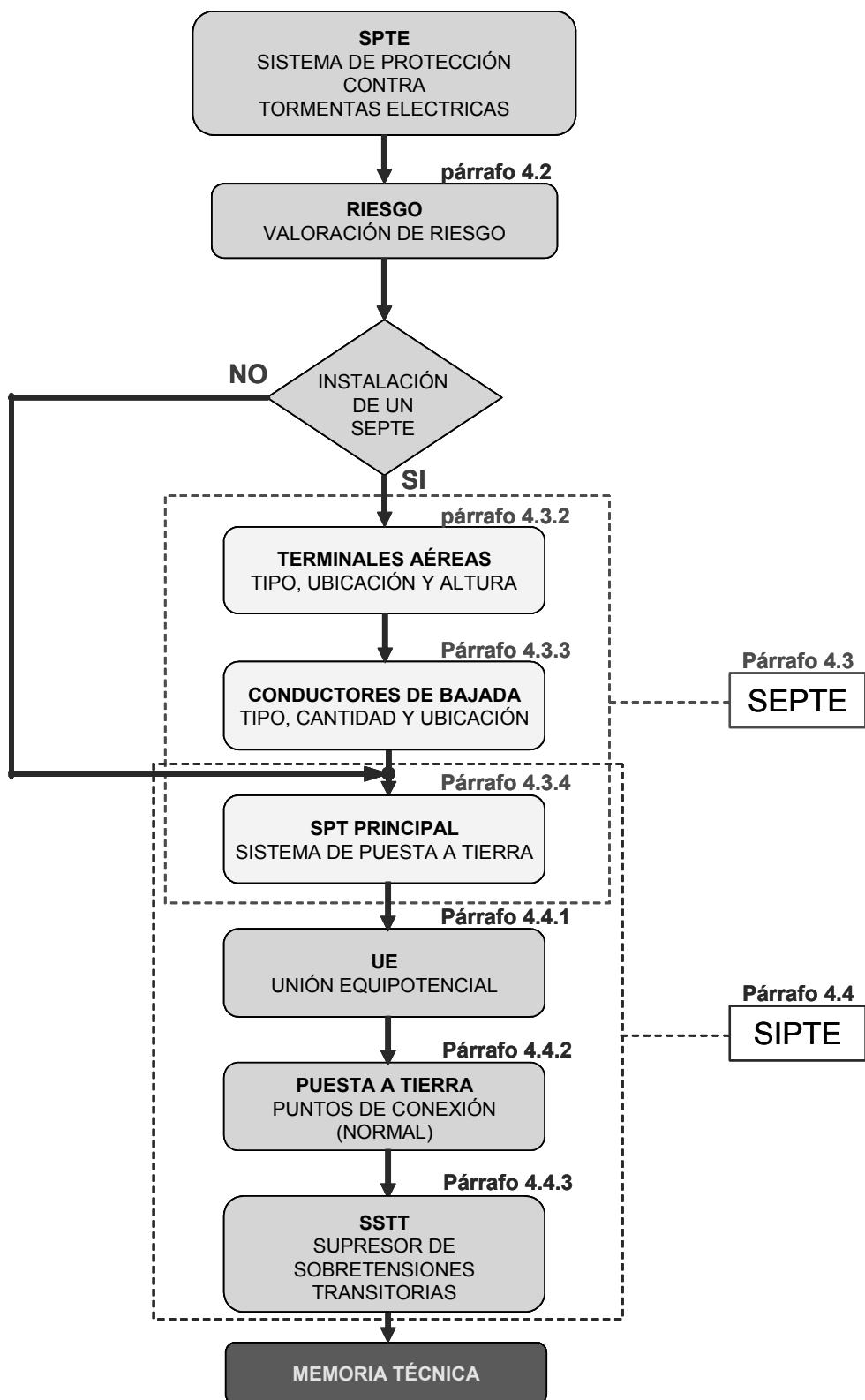


FIGURA 1.- Procedimiento para la aplicación de la Norma Mexicana

4.2 Valoración de riesgo

La valoración de riesgo es una medida empírica, la cual estima en forma razonable, la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

El diseño de un sistema de protección SPTE debe incluir la valoración de riesgo de la estructura contra la incidencia de un rayo directo, y esta valoración debe realizarse antes de definir las características y ubicación de los elementos constitutivos del sistema externo SEPTE como se indica en la figura 1. Los resultados de la valoración de riesgo determinan la necesidad de instalar el sistema externo de protección SEPTE.

Para instalaciones con riesgo de fuego o explosión debe aplicarse las especificaciones indicadas en el capítulo 5.

4.2.1 Frecuencia de rayos directos a una estructura

La frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura (N_0), puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$N_0 = N_g \times A_e \times 10^{-6} \quad (4-1)$$

En donde:

- N_0 es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura;
- N_g es la densidad promedio anual de rayos a tierra por km^2 , véase figura 2;
- A_e es el área equivalente de captura de la estructura, en m^2 .

NOTA - Para la densidad promedio anual de rayos a tierra, véase el apéndice D.

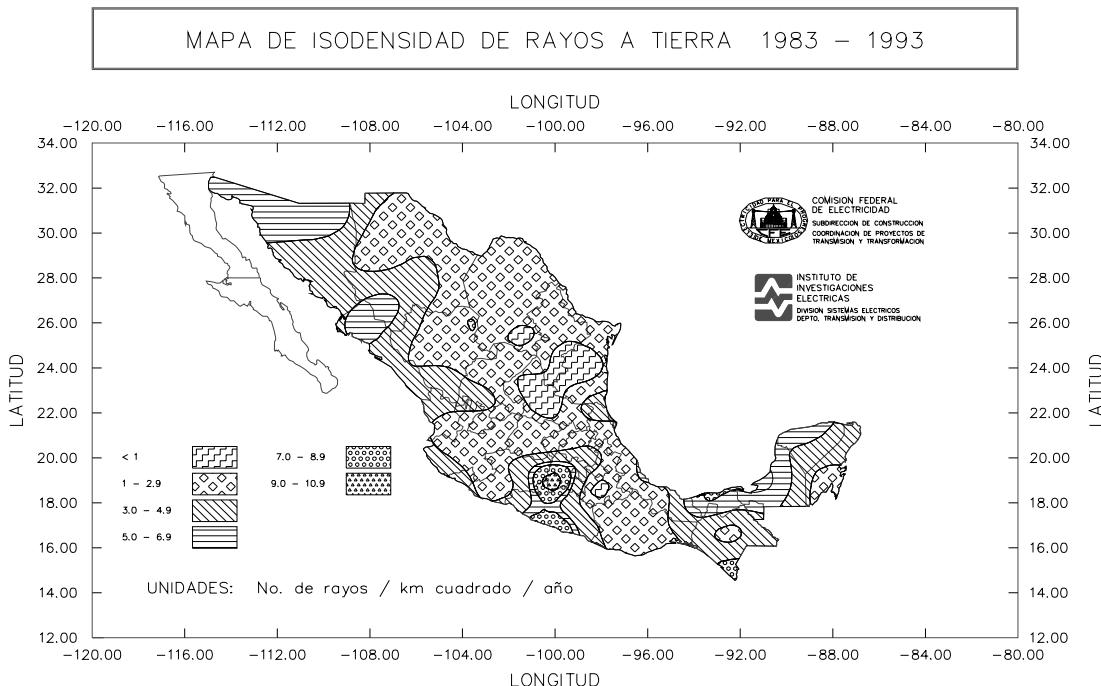


FIGURA 2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra

4.2.2 Frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura

La frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura, N_d , es el riesgo permitido de incidencia de un rayo directo a una estructura de acuerdo al tipo de estructura, uso y contenido, definidos en la tabla 1.

NOTA- Una frecuencia anual permitida de 1 rayo cada 10 años tiene un riesgo mayor para las estructuras que una frecuencia de 1 rayo cada 20, 50 ó 100 años. A mayor intervalo de años, es menor el riesgo de rayo directo sobre la instalación, edificio o estructura.

TABLA 1.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (N_d)
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0,04
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales.	0,02
Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	0,04
Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Hospital Asilo Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0,01
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0,02
Telecomunicaciones Véase nota	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0,02

NOTAS

1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección.

2 Para estructuras en zonas con **densidad de rayos a tierra** mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTE.

4.2.3 Área equivalente de captura

Las áreas equivalentes de captura se clasifican y se calculan de la forma siguiente:

- a) Para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano y de dos aguas, se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2, \text{ véase figura 3a} \quad (4-2)$$

$$A_e = ab + 6hb + 9\pi h^2, \text{ véase figura 3b} \quad (4-3)$$

En donde:

- A_e es el **área equivalente de captura**, en m^2 ;
- a es longitud de uno de los lados de la estructura, en m;
- b es la longitud del otro lado de la estructura en m; y
- h es la altura de la estructura en m.

NOTA - La altura h total de la estructura o edificio a proteger debe considerar la altura de todos los equipos instalados sobre techo.

- b) Para una estructura aislada ubicada en terreno irregular, se calcula el área con la ecuación siguiente, véase figuras 4a, 4b, 4c y 4d:

$$A_e = ab + 6h_e(a + b) + 9\pi h_e^2 \quad (4-4)$$

En donde:

- A_e es el **área equivalente de captura**, en m^2 ;
- a es longitud de uno de los lados de la estructura, en m;
- b es la longitud del otro lado de la estructura, en m; y
- h_e es la altura equivalente de la estructura en el terreno irregular, en m.

- c) Para una estructura con otras adyacentes, el área con la ecuación siguiente

Los objetos vecinos influyen de manera significativa sobre el área equivalente cuando las distancias entre ellos y la estructura son menores que $3/h + h_s$. En este caso, si las áreas equivalentes de la estructura y de los objetos vecinos se traslanan, el área equivalente A_e se calcula mediante el área resultante en la intersección de las líneas perpendiculares a la línea de trazado entre el objeto a protegerse y el objeto vecino a una distancia equivalente definida por la siguiente relación, véase figuras 5a y 5b para cada uno de los objetos vecinos:

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2} \quad (4-5)$$

En donde:

- X_s es la distancia equivalente, en m;
- h_s es la altura del objeto vecino, en m;
- h es la altura de la estructura bajo consideración, en m; y
- d es la distancia horizontal entre la estructura y el objeto vecino, en m.

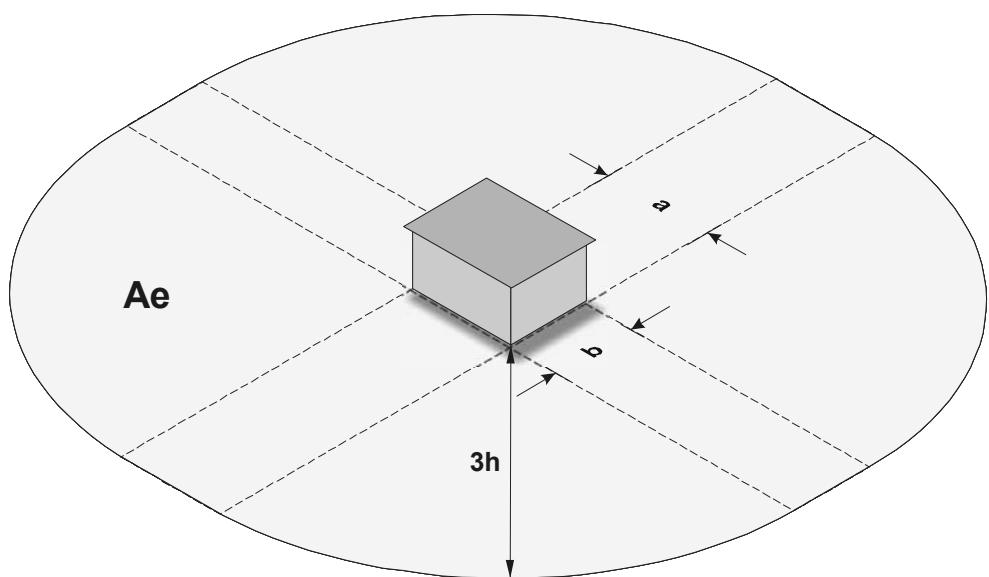
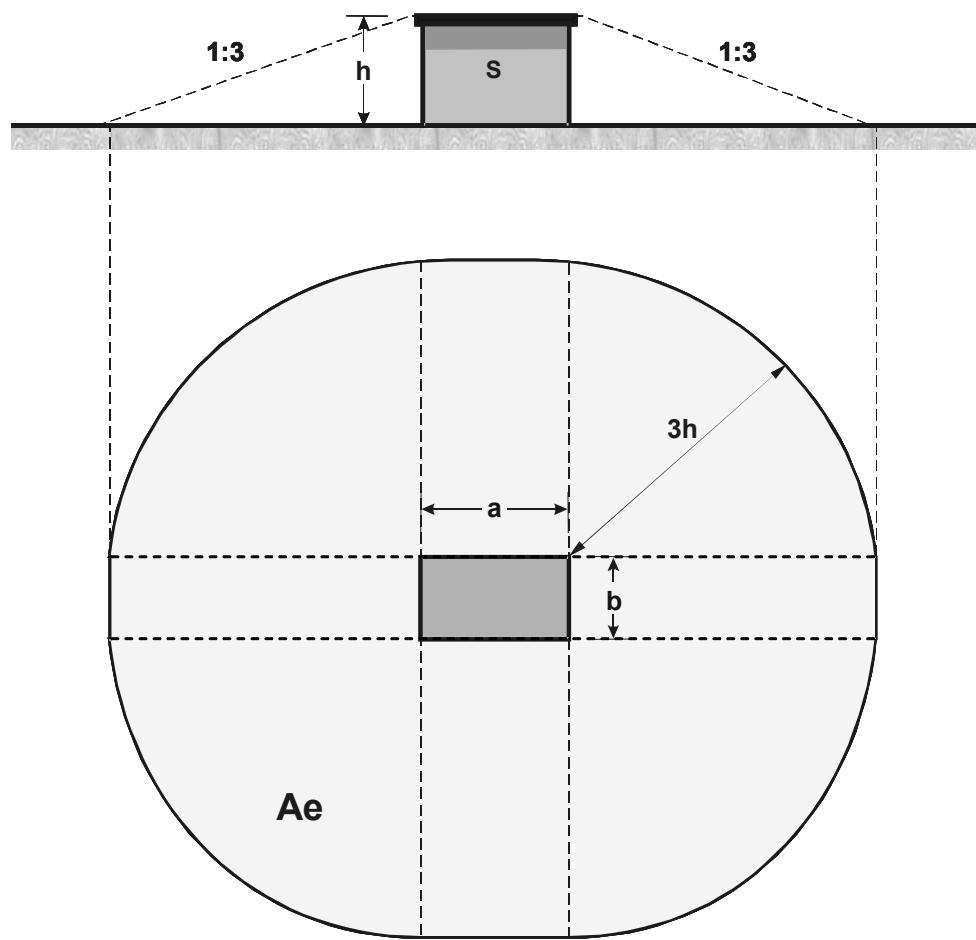


FIGURA 3a.- Área de captura equivalente para una estructura con techo plano y terreno plano

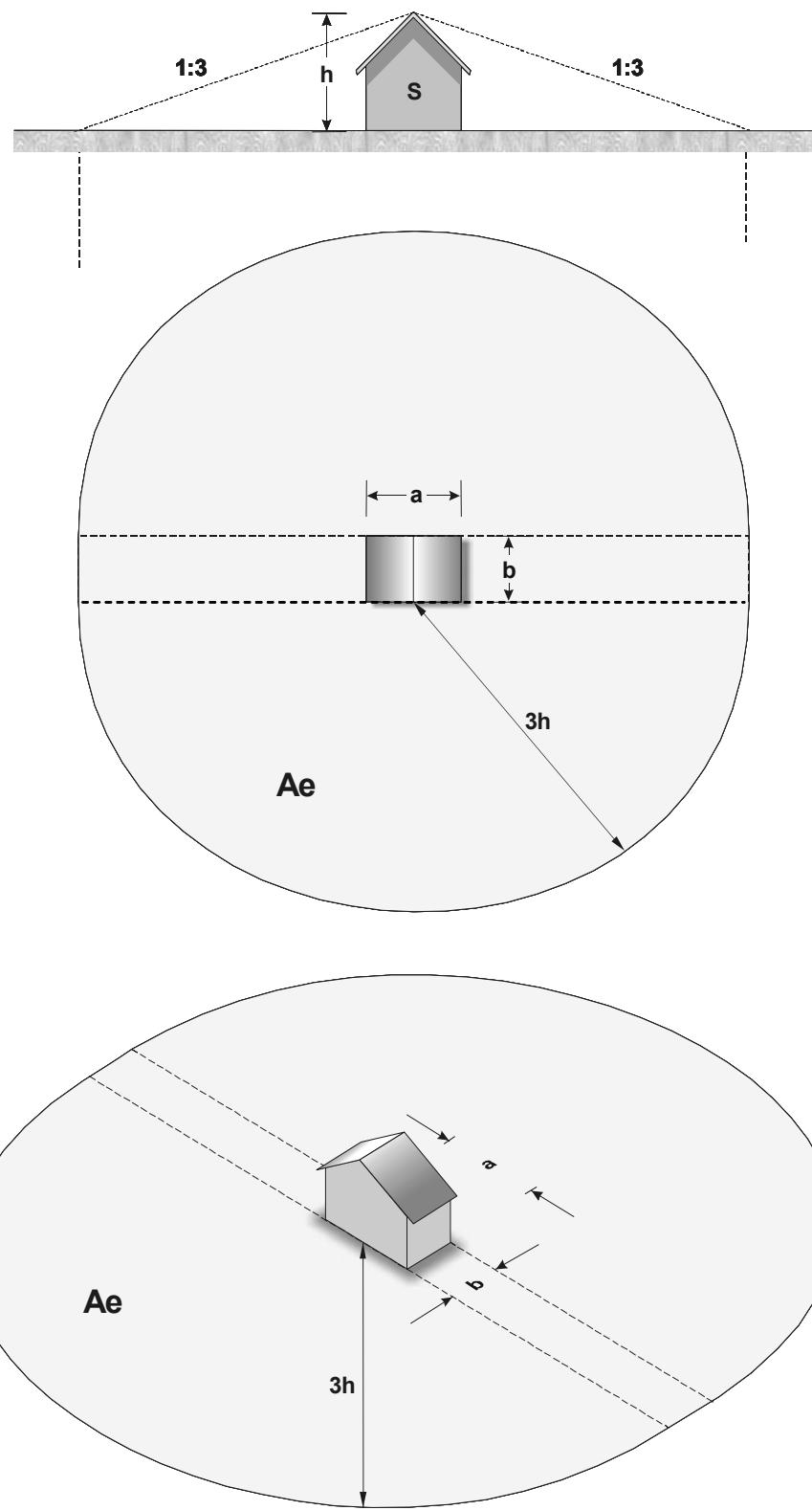


FIGURA 3b.- Área de captura equivalente para una estructura con techo de dos aguas y en terreno plano

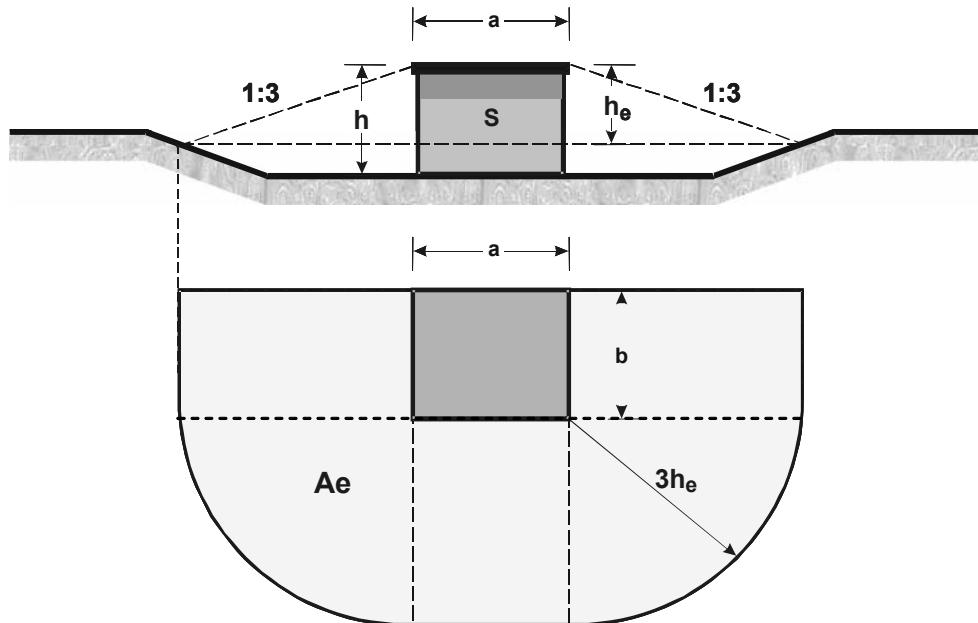


FIGURA 4a.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular

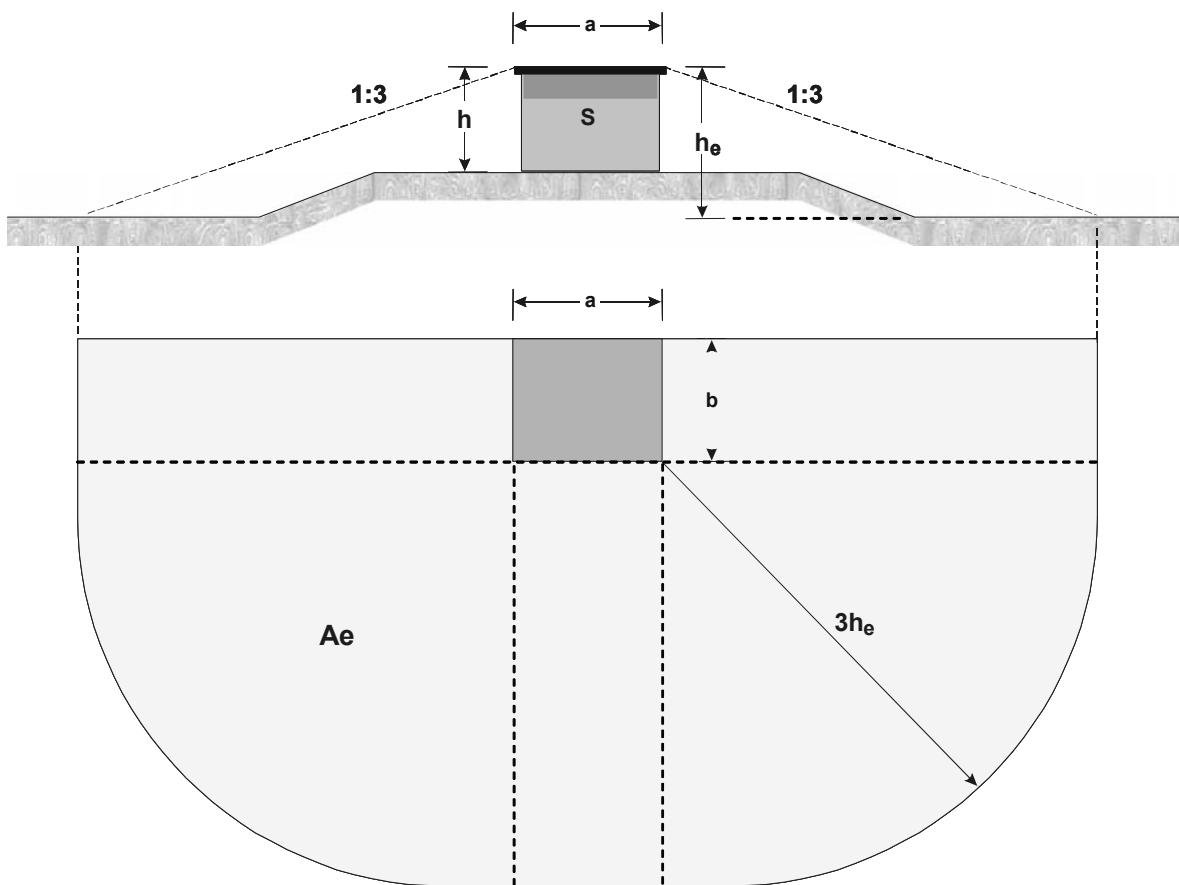


FIGURA 4b.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular

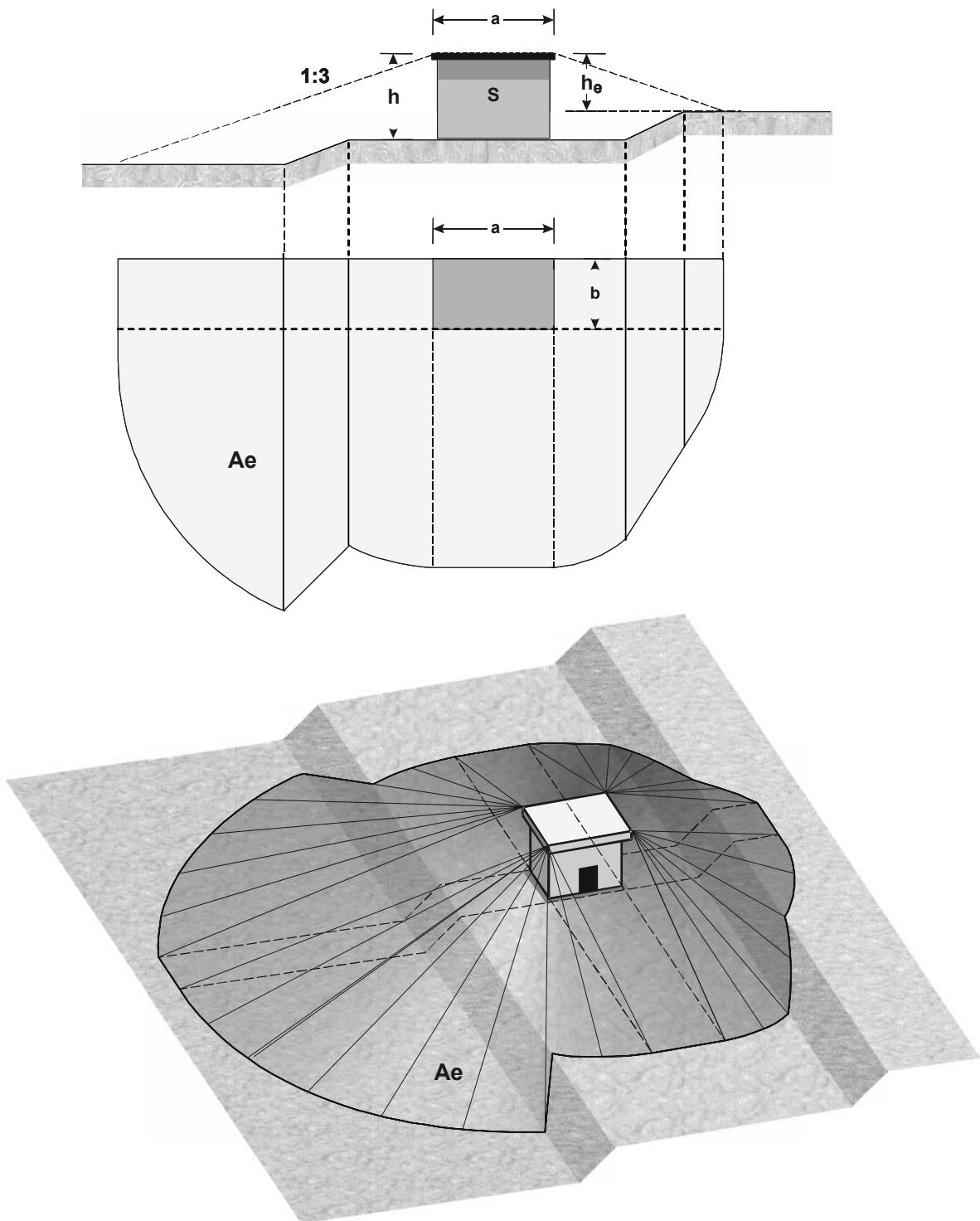


FIGURA 4c.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular

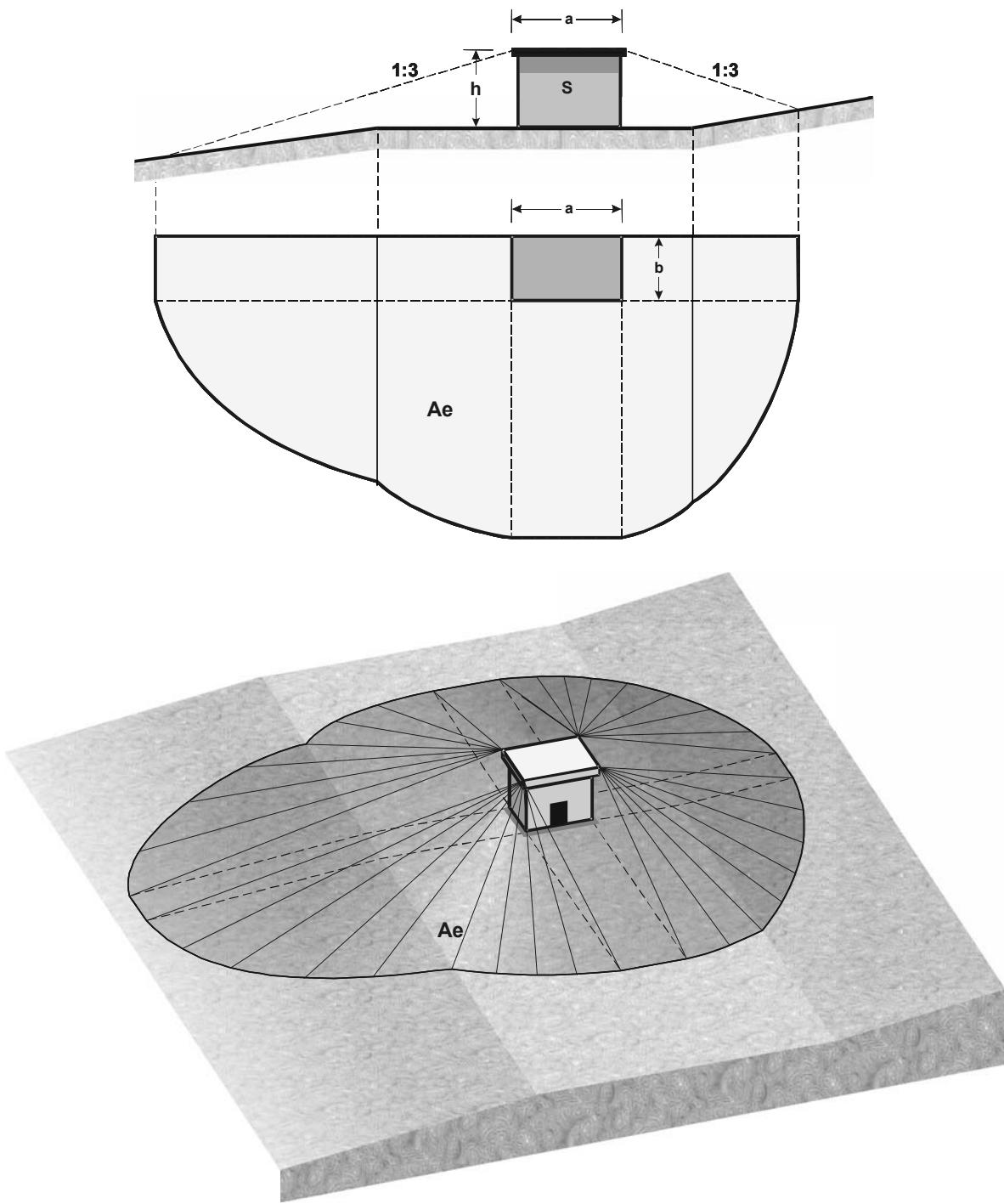


FIGURA 4d.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular

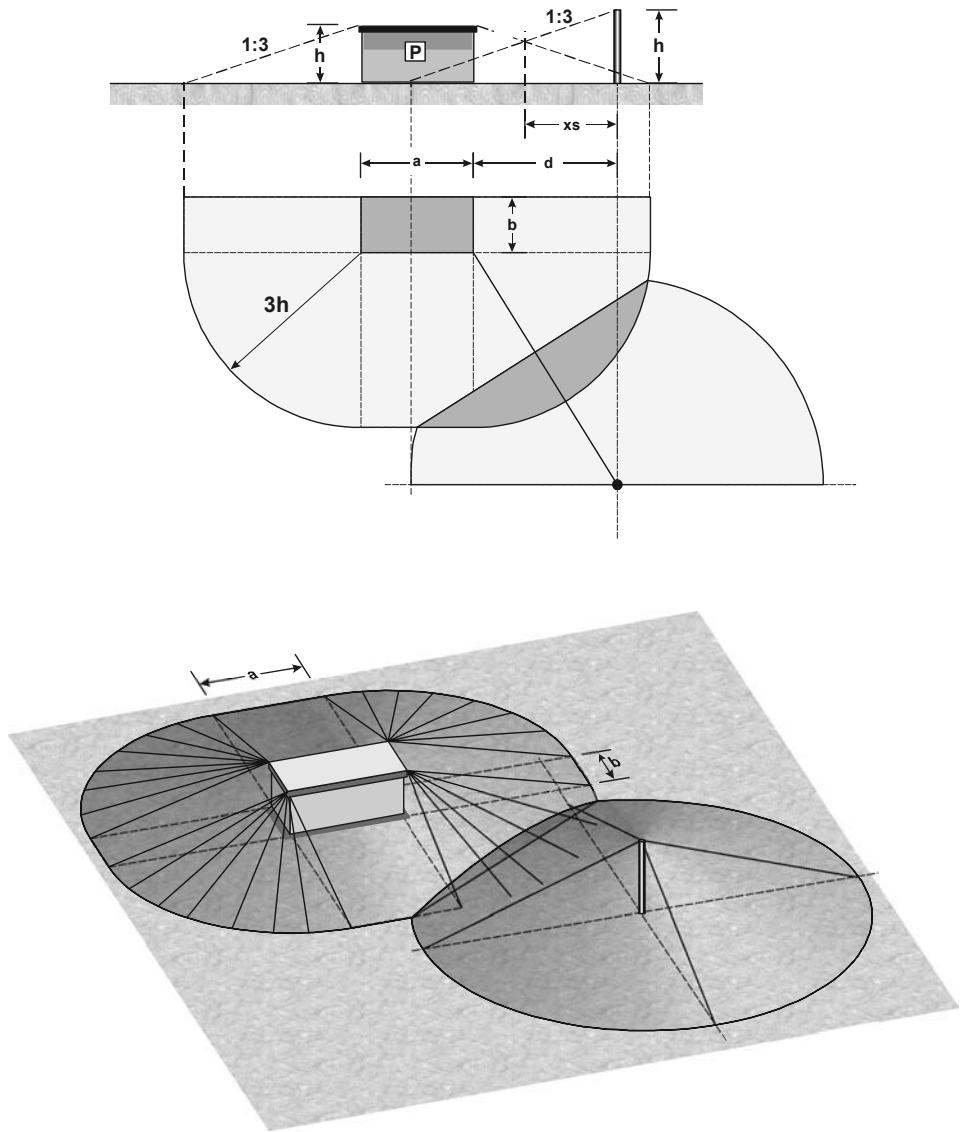


FIGURA 5a.- Área de captura equivalente para una estructura con objetos vecinos

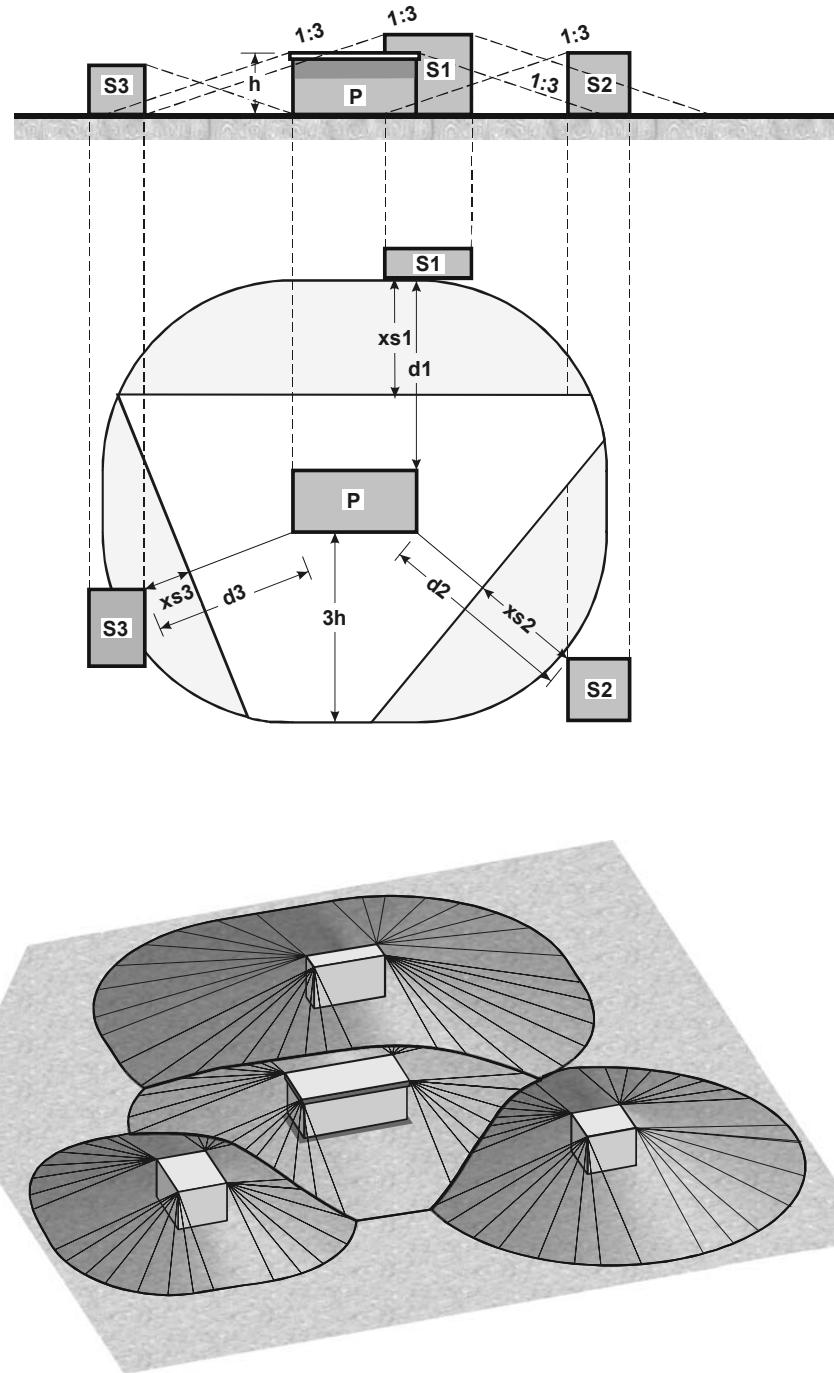


FIGURA 5b.- Área de captura equivalente para una estructura con objetos vecinos

4.2.4 Evaluación de la necesidad de protección

Una vez estimado el valor N_o debe compararse con el valor de la frecuencia media anual permitida N_d (tabla 1) para evaluar la necesidad de protección, considerando lo siguiente:

- a) Si N_o (estimado) es $\leq N_d$ (tabla 1, valor permitido), el SEPTE es opcional.

Esta condición significa que el SEPTE puede o no instalarse. Sin embargo, debe considerarse que, aún cuando el riesgo estimado sea menor que el riesgo permitido, existe la posibilidad de que un rayo incida sobre la estructura que no tiene un SEPTE.

- b) Si N_o (estimado) es $> N_d$ (tabla 1, valor permitido) debe instalarse un SEPTE.

En caso de instalar un SEPTE, debe hacerse de acuerdo con 4.3.

La selección del **nivel de protección** a utilizarse en el diseño para la ubicación y altura de las **terminales aéreas** depende del tipo y uso de la estructura conforme a lo indicado en la tabla 2.

Cuando se instale o no un sistema externo de protección SEPTE, la protección debe ser integral, por lo que en cualquier caso debe instalarse un sistema interno de protección SIPTE, independientemente del tipo de estructura o edificio y su contenido.

TABLA 2.- Nivel de protección

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III o IV
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para los animales.	II o III
Tanques de agua elevados: metálicos Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	III
Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas, y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Hospital Asilos Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Industria, tales como: maquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	I o II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	II
Telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, perdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y perdidas económicas por falta de continuidad en el servicio.	I

NOTA- El **nivel de protección I** es el de mayor protección y el **nivel de protección IV** es el de menor protección.

4.3 Diseño del sistema externo de protección SEPTE

Los elementos que conforman a un SEPTE son los siguientes:

- a) **Terminales aéreas;**
- b) conductores de bajada; y
- c) **sistema de puesta a tierra.**

El número y ubicación de las **terminales aéreas** de un SEPTE dependen del **nivel de protección** seleccionado y de la aplicación del método de la esfera rodante, indicado en 4.3.1.

El número y ubicación de los conductores de bajada dependen del tipo de sistema de protección seleccionado, que puede ser aislado o no aislado.

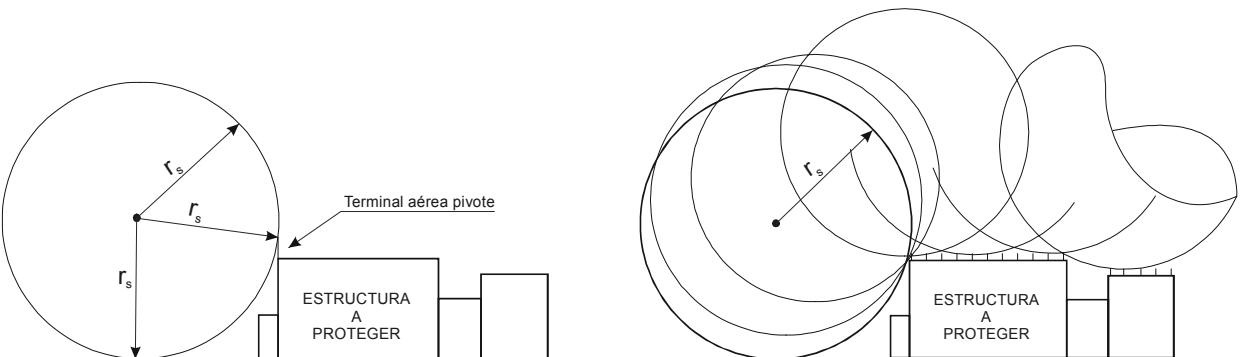
El número de los electrodos de puesta a tierra (ya sea individual o en arreglo) es el que determina el cumplimiento del valor de resistencia de puesta a tierra indicado en 4.3.4.

4.3.1 Método de la esfera rodante

El método de la esfera rodante consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y por encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la **corriente de rayo**. La esfera imaginaria debe rodarse (desde el nivel de tierra) hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el primer punto de contacto con la estructura, véase figura 6.

Esta primera terminal aérea se conoce como pivote, cuya altura debe ser suficiente para que la esfera no toque la estructura cuando ésta se apoye sobre tierra y sobre la punta de la terminal aérea pivote. Una vez especificado el primer punto de sacrificio para la **corriente de rayo**, debe rodarse la esfera por encima de la terminal aérea pivote y hacia el techo de la estructura e instalarse una terminal aérea de intercepción en todos aquellos puntos donde la esfera imaginaria toque la estructura o edificio a proteger, véase figura 6. Este proceso debe mantenerse hasta cubrir la totalidad del edificio o estructura a proteger. El espacio comprendido bajo el rodamiento de la esfera representa el volumen protegido.

En caso de no poder utilizar un método gráfico para rodar la esfera rodante imaginaria, como el descrito en el párrafo anterior, pueden utilizarse las ecuaciones indicadas en el Apéndice A para definir la altura, posición de las **terminales aéreas** de intercepción de la **corriente de rayo** y el área protegida.



r_s es el radio de la esfera rodante

FIGURA 6.- Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de las terminales aéreas de intercepción de rayo

Por su característica volumétrica, el método de la esfera rodante puede aplicarse sobre cualquier estructura. El radio de la esfera rodante r_s se indica en la tabla 3. Este radio se selecciona de acuerdo con el **nivel de protección** recomendado en la tabla 2.

TABLA 3.- Altura de las terminales aéreas verticales de acuerdo con el nivel de protección para el método de la esfera rodante

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante r_s y su correspondiente valor de corriente de rayo i		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger (h) m
	r_s (m)	i (kA)	
I	20	3	≤ 20
II	30	6	≤ 30
III	45	10	≤ 45
IV	60	16	≤ 60

NOTA - La corriente i (kA) se calcula de acuerdo al Apéndice A, para el radio r_s (m) correspondiente. Esta corriente representa el valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.

La tabla 4 muestra la probabilidad de incidencia de rayos medidos en un cierto tiempo (ocurrencia). Estos valores de incidencia para la **corriente de rayo** permiten estimar la eficiencia de un SEPTÉ, indicado en la tabla 5.

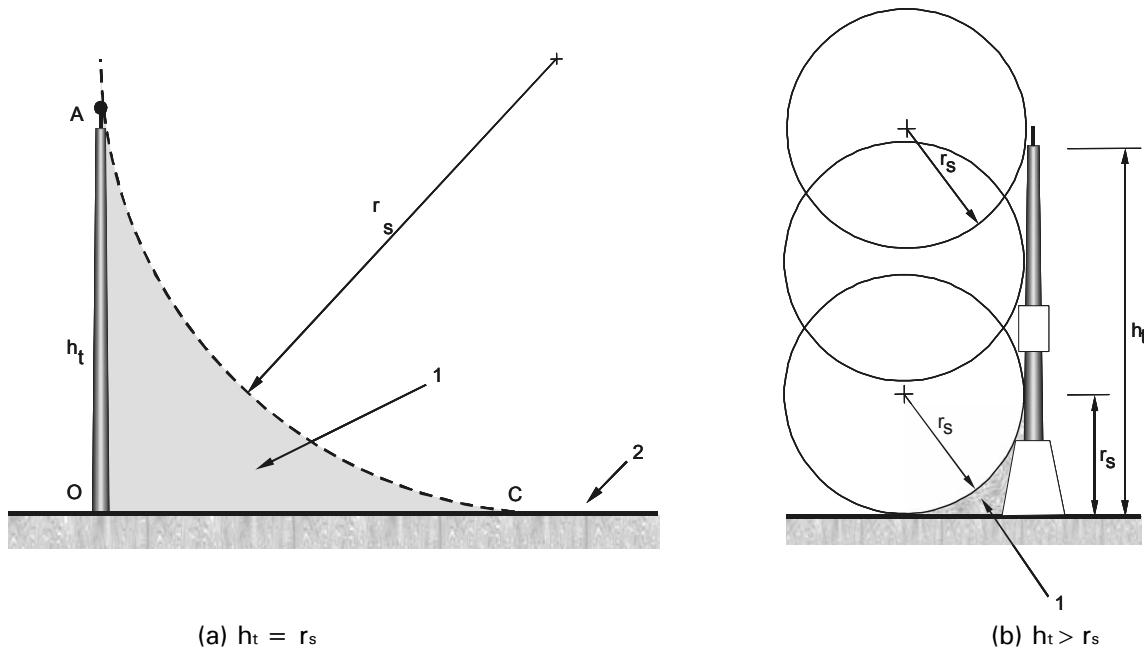
TABLA 4.- Probabilidad de incidencia del rayo de las corrientes de rayo

1 %	de los rayos exceden los	200	kA
10 %	de los rayos exceden los	80	kA
50 %	de los rayos exceden los	28	kA
90 %	de los rayos exceden los	8	kA
98 %	de los rayos exceden los	3	kA

TABLA 5.- Eficiencia del SEPTÉ de acuerdo con el nivel de protección

Nivel de protección	Eficiencia del SEPTÉ
I	98 %
II	95 %
III	90 %
IV	80 %

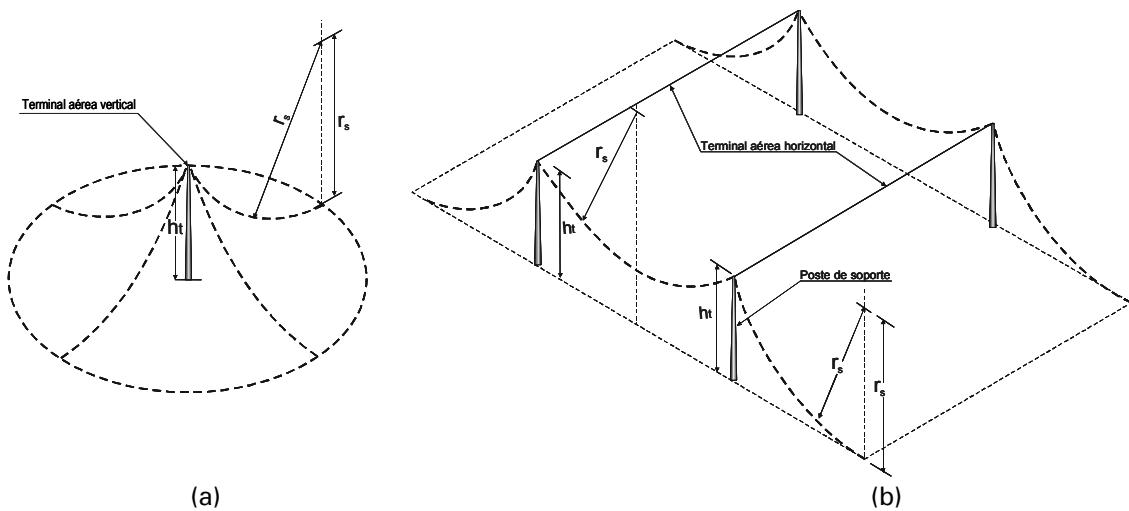
En la evaluación de la protección con el método de la esfera rodante, la altura máxima efectiva de la terminal aérea a partir del plano a proteger es igual al radio utilizado para la esfera rodante como se muestra en la figura 7. El espacio de protección de la terminal aérea puede apreciarse en la figura 8.



- 1 espacio a proteger
 2 plano de referencia
 r_s radio de la esfera rodante, de acuerdo a la tabla 3
 OC longitud del área a protegerse
 A punto más alto de la terminal aérea vertical u horizontal
 h_t altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia

La longitud $h_t - r_s$ en la opción (b) no proporciona protección adicional.

FIGURA 7.- Altura máxima efectiva de una terminal aérea a partir del plano a proteger



- r_s radio de la esfera rodante, de acuerdo a la tabla 3
 h_t altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia

FIGURA 8.- Espacio de protección (volumen bajo las líneas discontinuas) de una terminal aérea
(a) vertical y (b) horizontal obtenido mediante el método de la esfera rodante

4.3.2 Terminales aéreas

Las **terminales aéreas** pueden ser:

- a) Elementos metálicos verticales.
- b) Cables aéreos tendidos horizontalmente.
- c) Una combinación de ambos.

Las **terminales aéreas** deben cumplir con las especificaciones indicadas en el capítulo 6, y pueden utilizarse en un SEPTE aislado o no aislado.

El arreglo de las **terminales aéreas** debe cumplir con los requisitos indicados en la tabla 3.

4.3.2.1 Terminales aéreas en SEPTE aislado

Un SEPTE aislado debe utilizarse cuando la circulación de la **corriente de rayo** cause daño a la estructura y exista el riesgo de fuego o explosión ya sea por efecto térmico o arco eléctrico. Para el primer caso la separación entre los elementos del SEPTE y los elementos de la estructura a proteger recubierta con material inflamable o combustible deben ser como mínimo de 0,1 m; para el segundo caso, es necesario cumplir con los requisitos de la sección 4.3.3.4 para la **distancia de seguridad**.

4.3.2.2 Terminales aéreas en SEPTE no aislado

Un SEPTE no aislado debe cumplir con los requisitos de unión equipotencial indicados en 4.4.1.

4.3.2.3 Número y ubicación de terminales

Existen elementos de la estructura o edificio que por ser metálicos y estar por encima de los objetos a proteger pueden considerarse en el diseño como **terminales aéreas** naturales para interceptar la **corriente de rayo**, a pesar de no haber sido diseñados para tal fin. Estos elementos naturales pueden ser, hojas metálicas, ornamentaciones, barandillas, tubos metálicos, etc., generalmente ubicados en techos y fachadas, y deben cumplir las condiciones siguientes:

- a) Eléctricamente continuos en todas sus partes.
- b) No tener revestimientos de material aislante.
- c) Estar sólidamente conectados al **sistema de puesta a tierra**.
- d) Cumplir con las especificaciones en el capítulo 6.

La probabilidad del número de impactos sobre las **terminales aéreas** es mayor con su altura, aumentando también la probabilidad de interponerse en la trayectoria de rayos de mayor intensidad. Por lo tanto, es recomendable que la altura de las terminales esté limitada a 3 m por encima del objeto a proteger, verificando en todo momento la cobertura de protección en el diseño.

El número y ubicación de las **terminales aéreas** deben calcularse de acuerdo con su posición y **nivel de protección**, como se indica en 4.3.1. En general, para cualquier edificio o estructura, existen dos niveles de referencia en donde debe aplicarse la esfera rodante: (a) el nivel del techo y (b) el nivel del piso alrededor del edificio o estructura, como se indica en forma genérica en la figura 6. El cálculo del número y ubicación de las **terminales aéreas** deben cumplir los siguientes puntos, de acuerdo con la altura del edificio o estructura:

- 1) Cuando la altura del edificio o estructura sea menor que 20 m, el número y ubicación de las **terminales aéreas** en el techo del edificio obtenidas al rodar la esfera rodante correspondiente al **nivel de protección**, es suficiente para asegurar la protección deseada.
 - 2) Cuando la altura del edificio o estructura sea mayor que 20 m pero menor o igual que 60 m, deben instalarse, adicional a las **terminales aéreas** en el nivel del techo (obtenidas al rodar la esfera rodante correspondiente al **nivel de protección**), conductores horizontales alrededor del edificio formando lazos cerrados a cada 20 m de altura, como se indica en 4.3.3.3.2 y la figura 14.
 - 3) Cuando la altura del edificio o estructura sea mayor que 60 m, las **terminales aéreas** en el nivel del techo deben calcularse con un nivel I de protección. Adicionalmente, deben instalarse conductores horizontales (anillos equipotenciales) alrededor del edificio formando lazos cerrados por lo menos a cada 45 m de altura, en forma similar a lo indicado en la figura 14.
 - 4) Cuando el edificio o estructura sea de acero estructural eléctricamente continuo, no es necesario instalar los conductores horizontales (anillos equipotenciales) mencionados en los incisos anteriores; en este caso, es suficiente asegurar la conexión entre los cimientos de la estructura y el SPT.
- NOTA** - Para el caso de fachadas a base de elementos metálicos, éstos pueden utilizarse como **terminales aéreas** naturales, siempre y cuando cumplan con lo establecido en el capítulo 6, por lo que no es necesario utilizar los conductores horizontales (anillos equipotenciales) cerrados alrededor del edificio.
- 5) Para el caso de estructuras (como las torres de telecomunicaciones) con alturas hasta 60 m, debe instalarse como mínimo una terminal aérea en la parte más alta de la misma, con una altura mínima de 2 m sobre los objetos o equipos (generalmente antenas) más altos adheridos a la torre y a una separación como mínimo de 0,8 m de dichos objetos o equipos. Cuando dichos objetos o equipos se encuentren fuera del cuerpo de la torre (principalmente en partes intermedias de la torre) y ésta tenga una altura mayor que 60 m, deben utilizarse **terminales aéreas** horizontales adicionales, como se muestra en la figura 9. La distancia mínima de separación entre la terminal aérea horizontal y los objetos o equipos a proteger debe ser de 0,8 m. Véase figura 9.
 - 6) El criterio de ubicación de **terminales aéreas** horizontales indicadas en el inciso (5) debe aplicarse para la protección de equipo instalado sobre la parte exterior de paredes y muros de edificios (por ejemplo, video cámaras) cuando dicho equipo quede fuera del volumen de protección al rodar la esfera rodante desde el suelo hasta el edificio o estructura.

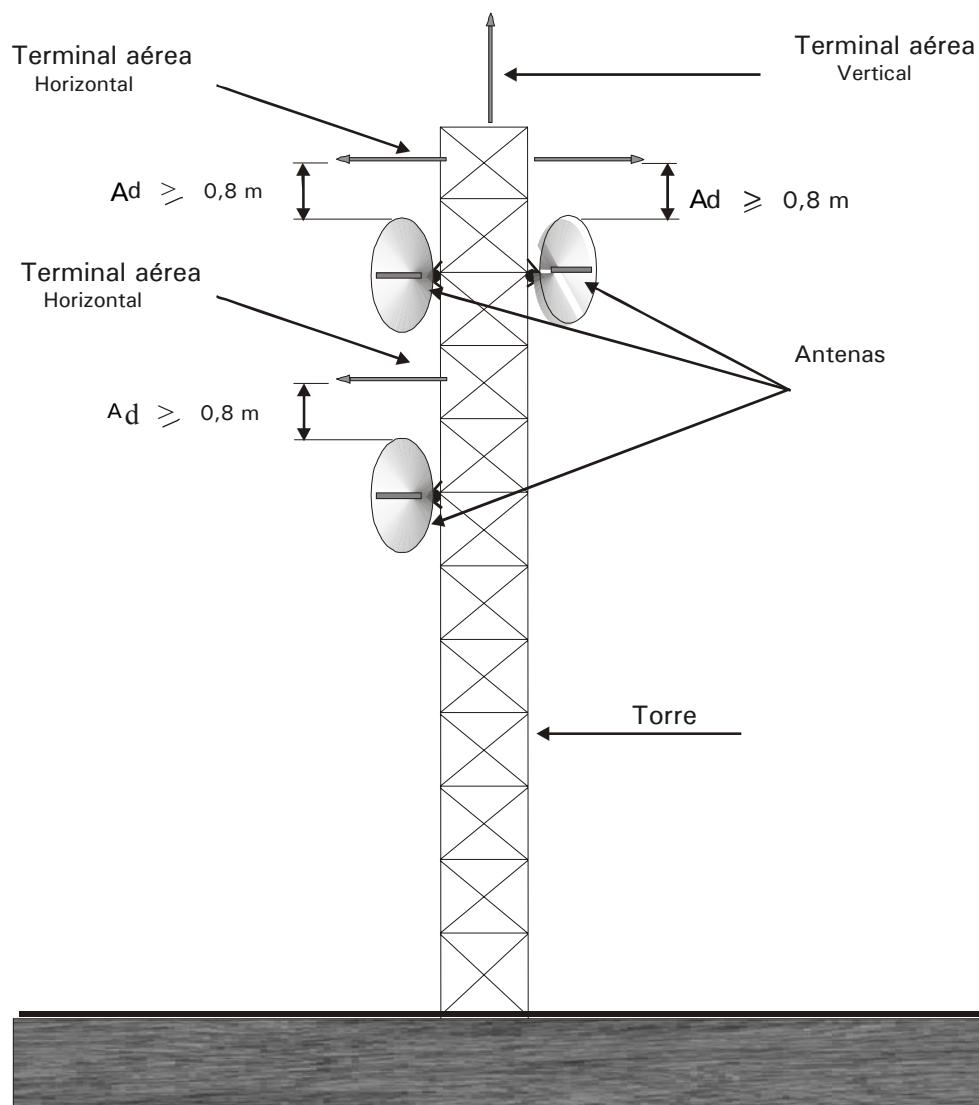


FIGURA 9.- Arreglo típico de ubicación de terminales aéreas verticales y horizontales para torres

4.3.3 Conductores de bajada

Se permite que el **conductor de bajada** se forme por alguno de los elementos siguientes:

- a) solera;
- b) barra redonda;
- c) cable;
- d) acero estructural o de refuerzo (componente natural).

Los conductores de bajada deben cumplir con las especificaciones indicadas en el Capítulo 6.

4.3.3.1 Requisitos

En el diseño del SEPTE, los conductores de bajada deben cumplir con lo siguiente:

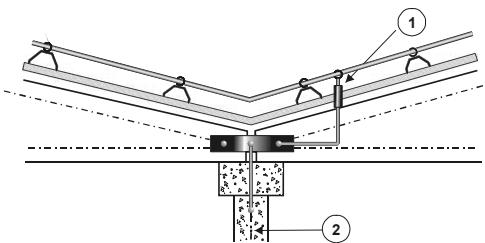
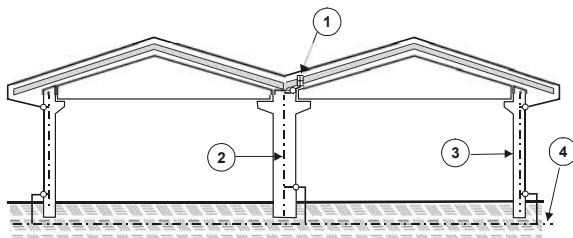
- 1) Distribuirse uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura o edificio mediante una configuración lo más simétrica posible.
- 2) Conectarse a los elementos del **sistema de puesta a tierra SPT** a través de la trayectoria más corta.
- 3) Conectarse a las **terminales aéreas** y al SPT de manera firme y permanente.
- 4) Ubicarse lo más alejado posible de circuitos eléctricos, electrónicos, de equipo con riesgo de fuego o explosión, accesos para el personal y de puertas y ventanas.

4.3.3.2 Conductores de bajada naturales

Las partes de una estructura que pueden considerarse como conductores de bajada naturales son las siguientes:

- a) Elementos metálicos estructurales (columnas y tráves) de la estructura.
- b) El acero de refuerzo de la estructura siempre y cuando cuente con uniones mecánicas o soldadas, excepto para elementos prefabricados.

La figura 10 muestra un ejemplo de conductores de bajada naturales en una estructura de concreto con acero de refuerzo para uso industrial. Al igual que para los conductores de bajada dedicados como los que se indican en 4.3.3, el **conductor de bajada natural** debe conectarse con las **terminales aéreas** y con el **sistema de puesta a tierra**.



- | | |
|---|---|
| 1 | conductor del SEPT en pasamuro |
| 2 | columna de concreto con acero de refuerzo |
| 3 | muro de concreto con acero de refuerzo |
| 4 | cimentación con acero de refuerzo |

FIGURA 10.- Conductores de bajada naturales utilizando el acero de refuerzo de las columnas de concreto en una estructura o edificio

4.3.3.3 Trayectorias de los conductores de bajada y radios de curvatura

Las rutas ubicadas en zonas de tránsito de personas deben evitarse como se indica en las figuras 11 y 11a, y debe cumplirse la distancia mínima de seguridad, como se indica en la figura 12, para el caso en que la ruta indicada en la figura 11 no pueda realizarse.

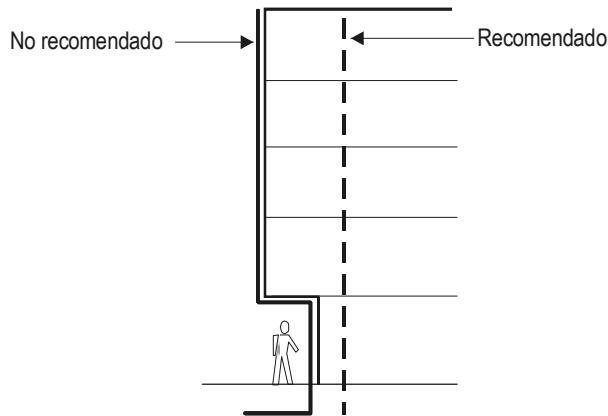
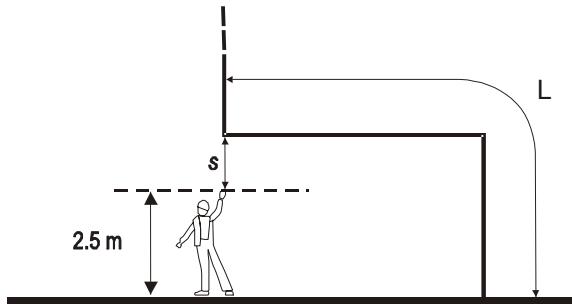


FIGURA 11.- Ruta recomendada para conductores de bajada en edificios con geometrías complejas como la indicada con tránsito de personas



s distancia de seguridad
/ longitud del conductor de bajada

NOTA - La altura de la persona con la mano alzada se considera de 2,5 m

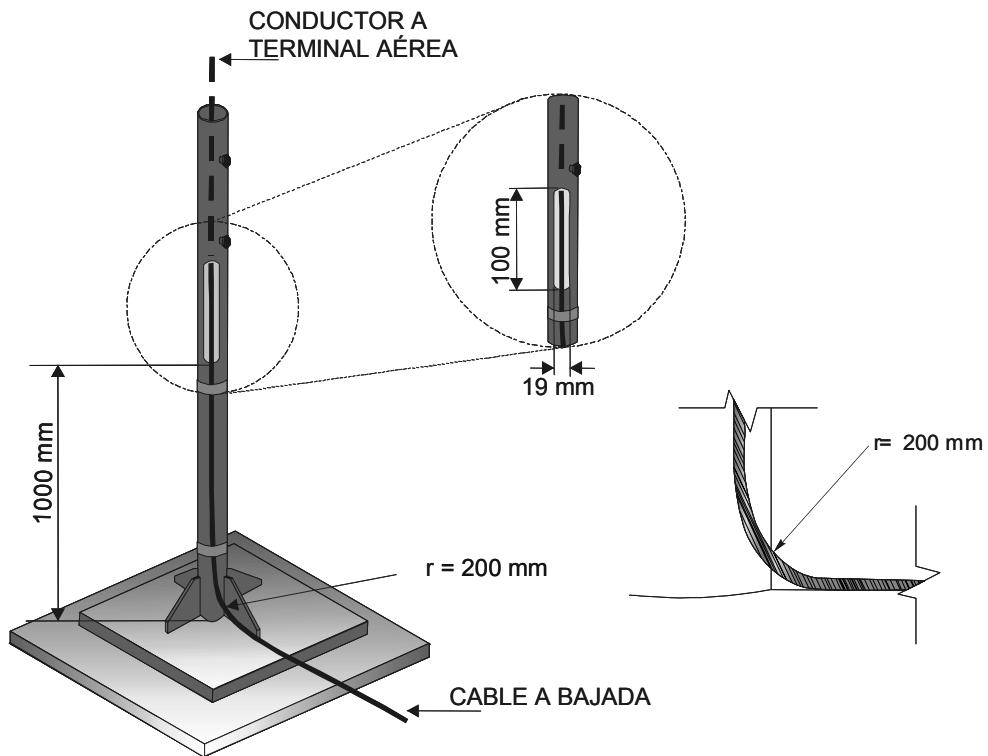
FIGURA 11a.- Distancia de seguridad para el caso de un conductor de bajada en edificios con geometrías complejas

La posición y distancia entre los conductores de bajada en las estructuras o edificios deben cumplir con la distancia mínima de seguridad indicada en 4.3.3.4.

El radio de curvatura del **conductor de bajada** en trayectorias verticales y horizontales debe ser mayor o igual a 200 mm. La figura 12 muestra el tratamiento de los radios de curvatura del **conductor de bajada**.

La figura 13 muestra la trayectoria que debe seguir el **conductor de bajada** en marquesinas y pretilés. La separación d_2 debe cumplir la **distancia de seguridad** conforme a lo indicado en 4.3.3.4.

NOTA - considerar el efecto de la ranura en las propiedades mecánicas del mástil.



r radio mínimo de curvatura.

FIGURA 12.- Arreglo típico y dimensiones mínimas para la trayectoria de un conductor de bajada cumpliendo el radio de curvatura para un mástil soporte de una terminal

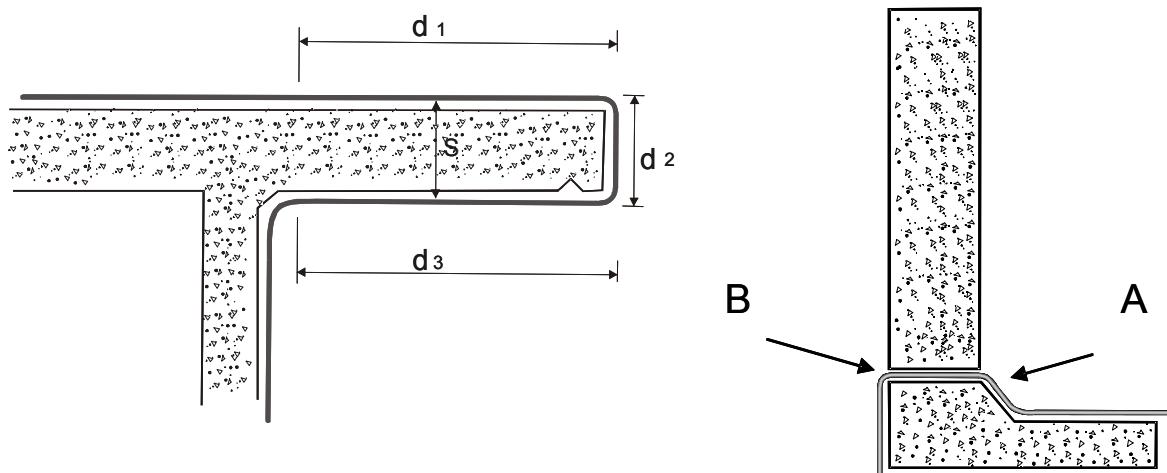


FIGURA 13.- Trayectorias para los conductores de bajada del SEPTA en marquesinas y pretilles

4.3.3.3.1 Terminales aéreas y conductores de bajada para un sistema externo de protección SEPTE aislado

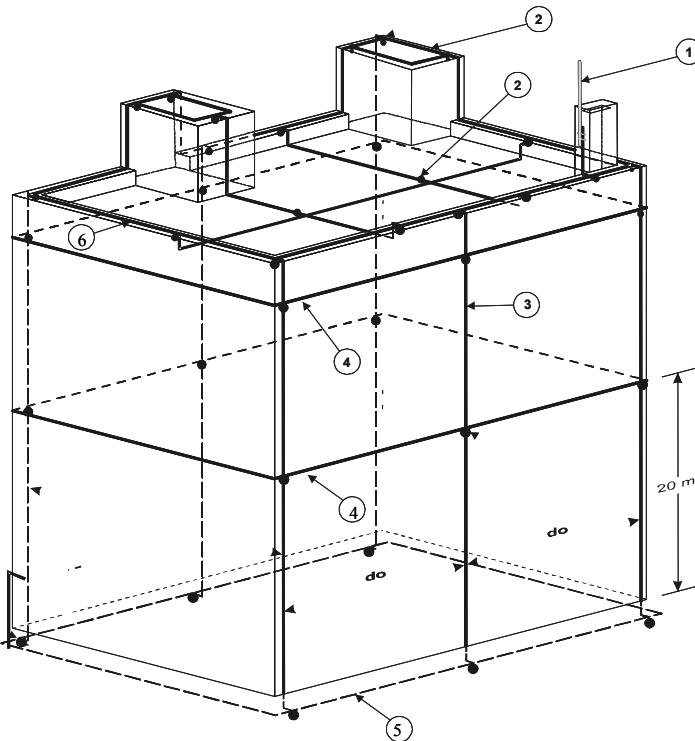
Las **terminales aéreas** y conductores de bajada deben mantener la **distancia de seguridad** s a las partes metálicas de la instalación y deben cumplirse los siguientes puntos, según sea el caso:

- a) Si las **terminales aéreas** son independientes y separadas de la estructura, debe utilizarse cuando menos un **conductor de bajada** por cada terminal aérea.
- b) Si las **terminales aéreas** son independientes y montadas en forma aislada de la estructura, debe utilizarse cuando menos un **conductor de bajada** por cada terminal aérea.
- c) Si las **terminales aéreas** forman una red de conductores horizontales y están montadas en mástiles separados de la estructura, debe instalarse por lo menos un **conductor de bajada** por cada mástil soporte.
- d) Si las **terminales aéreas** forman una red de conductores horizontales y están montadas de forma aislada sobre la estructura, debe instalarse por lo menos un **conductor de bajada** por cada mástil soporte.
- e) A nivel de suelo, los conductores de bajada deben interconectarse al SPT. Para el caso de un solo **conductor de bajada** el SPT debe estar formado por al menos un arreglo de 3 electrodos y conforme a lo indicado en 4.3.4

4.3.3.3.2 Terminales aéreas y conductores de bajada para un sistema externo de protección SEPTE no aislado

Las **terminales aéreas** y los conductores de bajada deben estar conectados a nivel de techo. A nivel de suelo, los conductores de bajada deben interconectarse al SPT. Cuando las condiciones físicas del edificio o estructura no permitan esta conexión a nivel de suelo debe utilizarse el acero de refuerzo o estructural de la cimentación para lograr esta conexión. Además deben cumplirse los siguientes puntos, según sea el caso:

- a) Si el SEPTE está formado por una sola terminal aérea, deben utilizarse dos o más conductores de bajada.
- b) Si el SEPTE está formado por conductores horizontales, deben utilizarse dos o más conductores de bajada.
- c) Cuando se utilicen dos conductores de bajada, éstos deben instalarse diametralmente opuestos. Cuando se utilicen más de dos conductores de bajada, éstos deben estar distribuidos alrededor del perímetro del **espacio a proteger** de tal manera que el valor promedio de la distancia entre los contiguos no sea mayor que los valores indicados en la tabla 6. Es recomendable un espaciamiento uniforme entre conductores de bajada. Los conductores de bajada deben estar ubicados cerca de cada una de las esquinas de la estructura, aplicando los criterios indicados en 4.3.3.2.
- d) Si la pared de la estructura está hecha de material inflamable, los conductores de bajada deben ubicarse a una distancia mayor a 0,1 m del elemento a proteger.
- e) Los conductores de bajada deben conectarse con los conductores horizontales alrededor de la estructura o edificio definidos en 4.3.2.3 incisos 2) y 3).



- 1 terminal aérea
 2 terminal aérea horizontal
 3 conductor de bajada
 4 conductor de anillo equipotencial
 5 SPT
 6 conexión de terminales aéreas y conductores de bajada a nivel de techo

NOTA - Se indica una sola terminal aérea vertical por motivos de claridad en el dibujo.

FIGURA 14.- Arreglo físico representativo de la conexión entre terminales aéreas, conductores de bajada y un arreglo cerrado del sistema de puesta a tierra en un edificio con diferentes niveles en el techo y para un sistema no aislado de protección

La distancia de separación d_o entre conductores de bajada contiguo debe cumplir con los requisitos indicados en la tabla 6.

TABLA 6.- Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección

Nivel de protección	Distancia promedio m
I	10
II	15
III	20
IV	25

4.3.3.4 Distancia de seguridad

La **distancia de seguridad** s debe calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l \quad (4-6)$$

$$d \geq s$$

En donde:

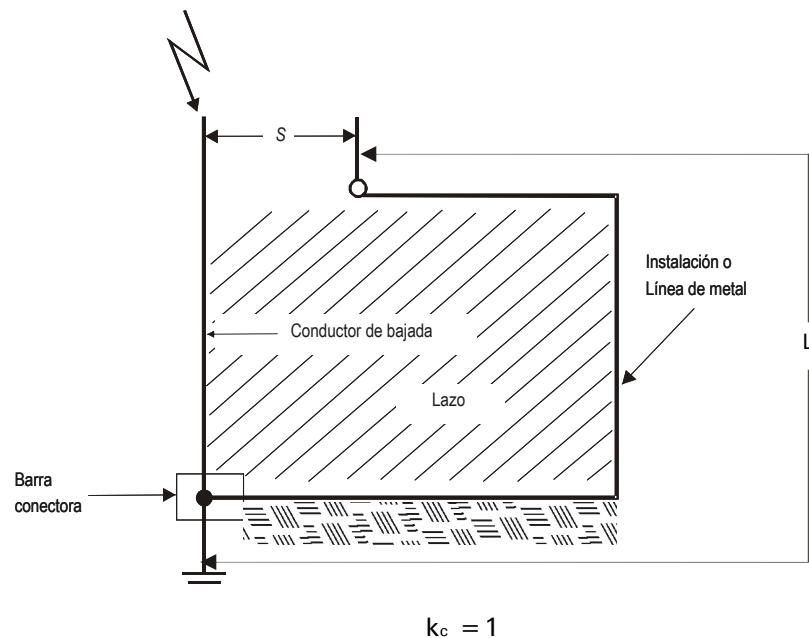
- s es la **distancia de seguridad**, en m;
 d es la distancia entre los elementos a evaluar, en m;
 k_i depende del **nivel de protección** seleccionado del SEPTE, véase tabla 7.
 k_c depende de la configuración dimensional, véase figuras 15, 16 y 17
 k_m depende del material de separación (aire o sólido), véase tabla 8.
 l es la longitud del **conductor de bajada** desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m.

TABLA 7.- Valores de k_i para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPTE

Nivel de protección	Coeficiente k_i
I	0,1
II	0,075
III y IV	0,05

TABLA 8.- Valores de k_m para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPTE

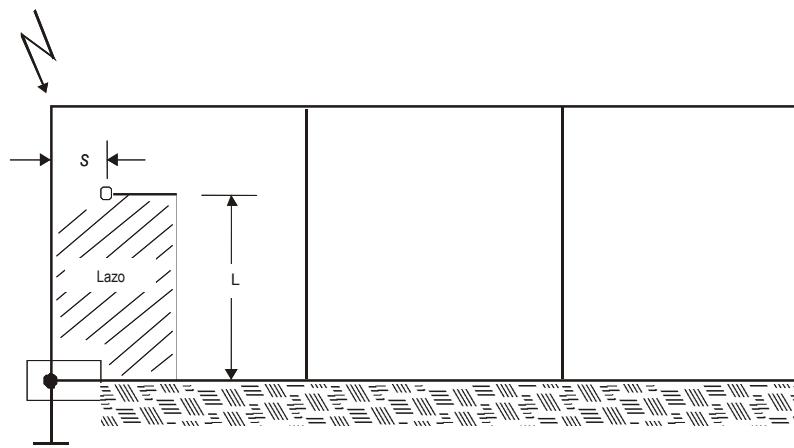
Material de separación	Coeficiente k_m
Aire	1,0
Sólido	0,5



$$k_c = 1$$

s distancia de seguridad, en m
 L longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m

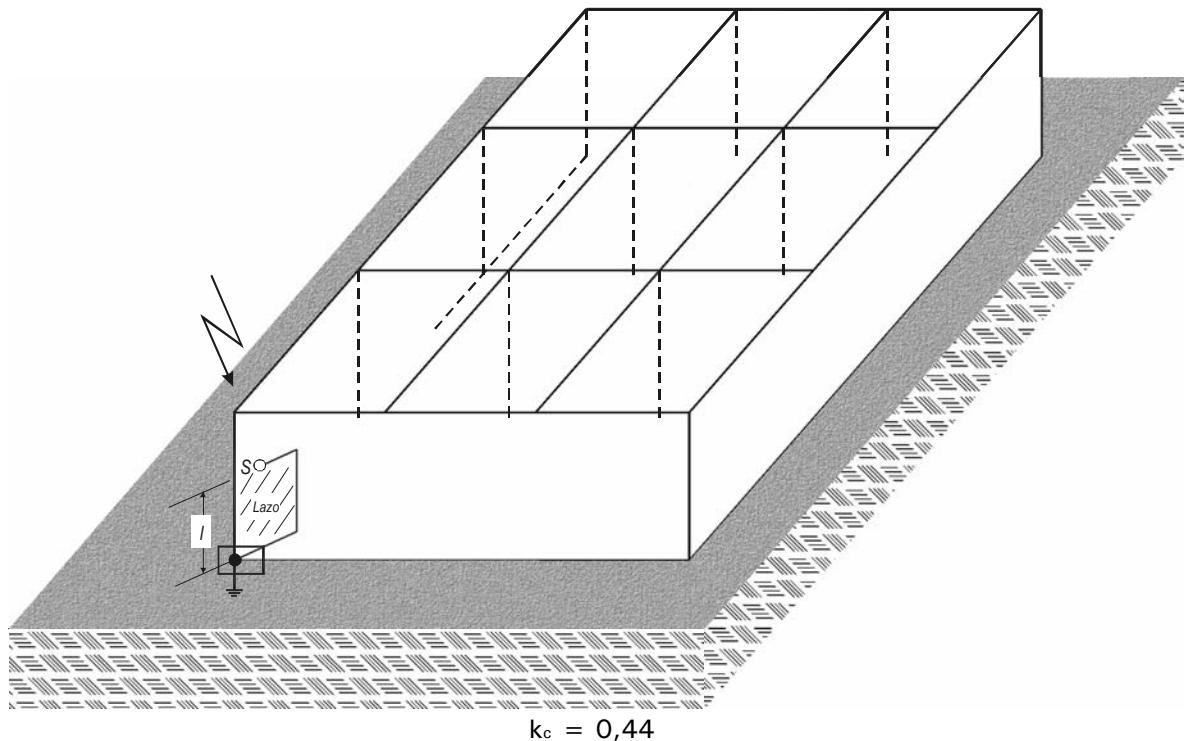
FIGURA 15.- Valor del coeficiente k_c para un o dos conductores de bajada



$$k_c = 0,66$$

s distancia de seguridad, en m
 L longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m

FIGURA 16.- Valor del coeficiente k_c para tres o cuatro conductores de bajada



s distancia de seguridad, en m
 I longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m

FIGURA 17.- Valor del coeficiente k_c para más de cuatro conductores de bajada

4.3.4 Sistema de puesta a tierra (SPT)

Desde el punto de vista de protección contra tormentas eléctricas debe utilizarse un SPT que minimice los potenciales de paso y contacto para reducir riesgos de electrocución y la formación de arcos laterales entre partes metálicas que pongan en peligro al personal y al equipo en la trayectoria de los conductores de bajada.

El SPT debe integrarse por un arreglo de 3 electrodos por cada **conductor de bajada** cuando éstos no se interconecten entre sí por medio de un conductor enterrado. Cuando los electrodos de puesta a tierra de los conductores de bajada se interconecten entre sí mediante un conductor enterrado puede utilizarse un arreglo de uno o más electrodos de puesta a tierra.

El SPT debe integrar, incluir e interconectar todos los sistemas dentro de la instalación (SPTE, sistemas de energía eléctrica, sistemas de telecomunicaciones, entre otros). Véase 4.4.1 unión equipotencial.

Con el fin de mantener la elevación de potencial del SPT a niveles seguros, se recomienda que el valor de la resistencia de puesta a tierra se mantenga en niveles no mayores que 10Ω . Este valor de resistencia debe cumplirse para cada arreglo de 3 electrodos por **conductor de bajada**, cuando éstos no se encuentren interconectados.

Los elementos que deben formar un SPT son:

- Electrodos de puesta a tierra.
- Conductores desnudos para unir los electrodos.
- Conexiones soldables.
- Registros

4.3.4.1 Electrodos de puesta a tierra

En general, un **electrodo de puesta a tierra** puede ser de cualquier tipo y forma, siempre y cuando cumpla con los requisitos siguientes:

- a) Ser metálico.
- b) Tener una baja resistencia de puesta a tierra, como el que se establece en 4.3.4.
- c) Cumplir con las características indicadas en el Capítulo 6.
- d) Sus componentes no deben tener elementos contaminantes al medio ambiente.
- e) Para los formados por varias hojas metálicas, éstas deben unirse por medio de soldadura.

4.3.4.2 Electrodos de puesta a tierra comunes

Los electrodos de puesta a tierra utilizados son los siguientes:

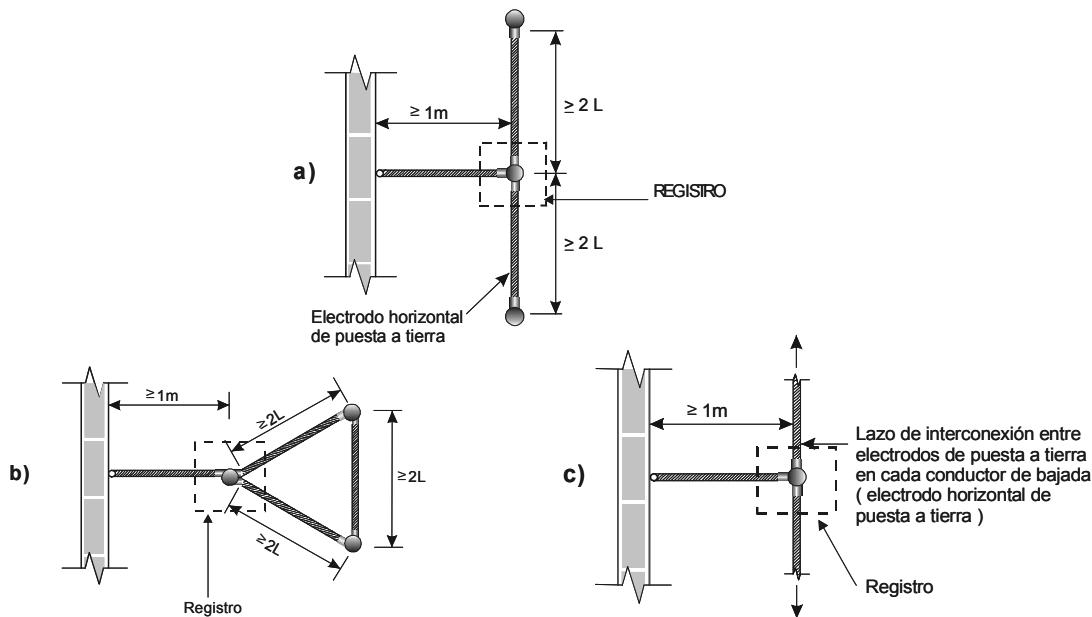
- a) Verticales (varillas, tubos, conductores planos).
- b) Horizontales (tubos, cables o conductores planos colocados en forma radial o en anillo).
- c) Los formados por los cimientos de las estructuras (naturales).
- d) Placas y mallas.

4.3.4.3 Diseño del SPT

Los factores que deben considerarse para el diseño de un SPT, son:

- a) El estudio del terreno, resistividad. Véase Apéndice B;
- b) Área disponible;
- c) Los aspectos físicos, como obstrucciones, rocas y otros servicios o elementos enterrados; y
- d) La agresividad del suelo sobre los materiales del SPT (corrosión). Véase capítulo 6.

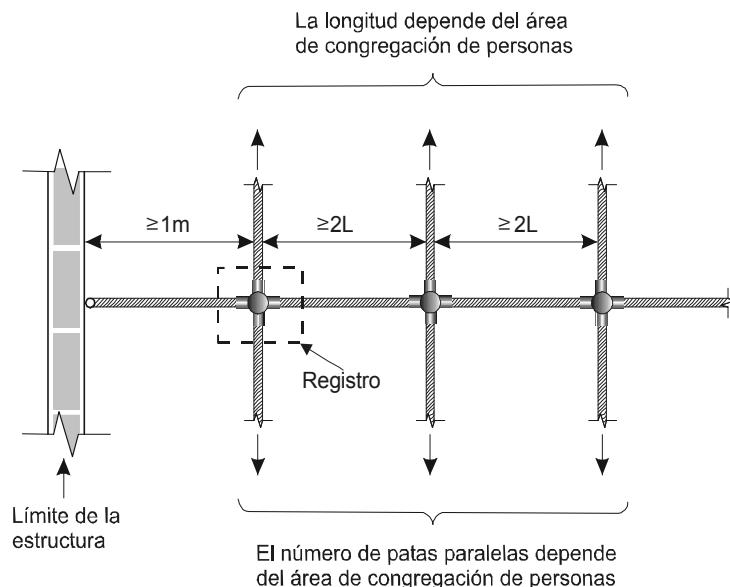
Los arreglos prácticos para el SPT que pueden utilizarse dependen del espacio disponible y de las características eléctricas del suelo. Las figuras 18, 19 y 20 muestran algunos arreglos típicos que pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra conectados a los conductores de bajada.



- a) arreglo de conductores horizontales y elementos verticales;
- b) arreglo en triángulo equilátero con elementos verticales;
- c) electrodo vertical de puesta a tierra interconectado a otros electrodos de puesta a tierra;

L longitud del **electrodo de puesta a tierra** vertical.

FIGURA 18.- Vista de planta de los arreglos típicos para formar el electrodo de puesta a tierra que conecta a cada conductor de bajada del SEPTÉ



L longitud del **electrodo de puesta a tierra** vertical.

FIGURA 19.- Vista de planta de los arreglos del SPT recomendado para áreas con tránsito de personas en caso de no poder instalar una capa superficial de alta resistividad

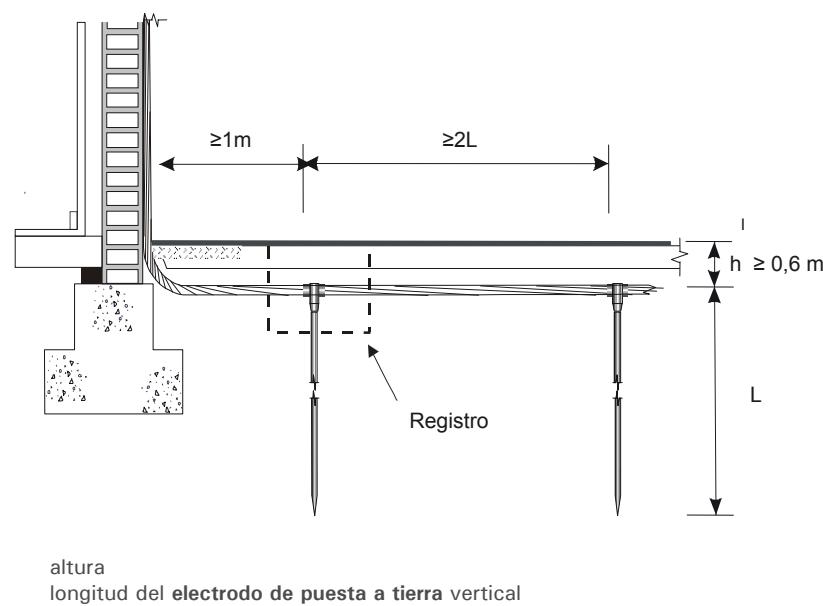


FIGURA 20.- Vista lateral de enterramiento de los electrodos verticales y horizontales de puesta a tierra

4.3.4.4 Factores para un SPT

Los factores que deben considerarse para la instalación de un SPT son:

- a) La longitud de los electrodos verticales debe ser no menor que 2,40 m.
 - b) La distancia mínima de separación entre electrodos verticales de puesta a tierra debe ser el doble de su longitud.
 - c) El punto de conexión sobre el nivel del suelo entre los conductores de bajada y los electrodos de puesta a tierra debe ser permanente por medio de un proceso de soldadura exotérmica, véase figura 20.
 - d) Debe instalarse un registro por cada **conductor de bajada** para medición, verificación y mantenimiento del SPT con las siguientes dimensiones mínimas 32 cm x 32 cm x 32 cm.
 - e) Los electrodos de puesta a tierra deben interconectarse entre sí mediante conductores sin aislamiento horizontales enterrados, por medio de un proceso de soldadura exotérmica, formando una trayectoria lo más cerrada posible alrededor de la estructura, véase figura 21.
 - f) Debe tenerse especial cuidado en la unión de los elementos del SPT para lograr una compatibilidad galvánica entre los materiales.
 - g) Los electrodos horizontales de puesta a tierra deben instalarse a una distancia de 1,0 m o mayor que la estructura y a profundidades de 0,6 m o mayores.
 - h) La selección del arreglo del SPT depende de la resistividad del suelo y de las limitaciones prácticas encontradas en el área de interés.

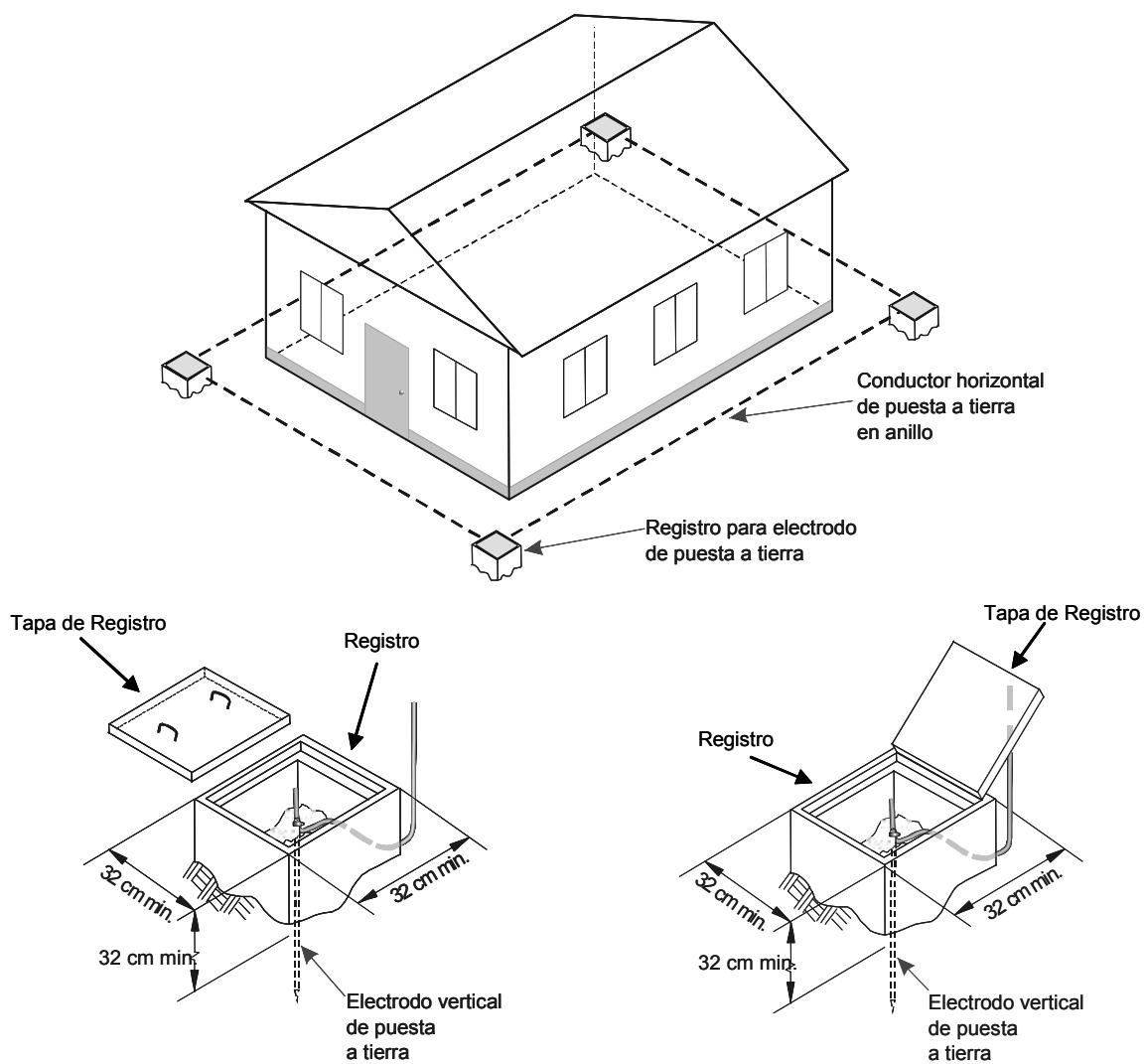
- i) Los electrodos horizontales de puesta a tierra deben instalarse preferentemente por debajo de cualquier conjunto de cables directamente enterrados, cables en canalizaciones o tuberías pertenecientes a servicios que entran o salen de la estructura y no deben conectarse en su trayectoria a conductores enterrados en el suelo pertenecientes a otros servicios.
- j) Cuando se tengan diferentes estructuras en una misma área pertenecientes a diferentes propietarios, debe instalarse un SPT para cada estructura y evaluar su conexión, dependiendo de si las instalaciones comparten servicios o no.
- k) Para el caso en que exista una elevada concentración de personas en terreno natural adyacente a la estructura, deben instalarse arreglos adicionales al SPT, véase figura 19.
- l). Si el área adyacente a la estructura está cubierta por una capa de asfalto o concreto de por lo menos 0,10 m las personas estarán protegidas contra el riesgo de electrocución, por lo que no es necesaria la instalación de arreglos adicionales como el descrito en el punto anterior.
- m) La interfase tierra-aire de los electrodos de puesta a tierra debe protegerse contra la corrosión en el área debido a la reacción diferencial.

4.3.4.5 Métodos prácticos para mejorar la eficiencia de un SPT

La tubería principal del servicio de agua puede interconectarse con él o los elementos del SPT, siempre y cuando sea metálica, se encuentre enterrada en el suelo, se conecte al SPT principal, forme parte de la unión equipotencial y no tenga discontinuidades generadas por partes aislantes entre tramos de tuberías. Las tuberías de gas no deben, bajo ninguna circunstancia, ser utilizadas como un **electrodo de puesta a tierra**

Los cimientos de edificios o estructuras pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra (conocidos como naturales), los cuales representan un medio auxiliar o complementario de disipación del sistema principal (SPT). La conexión entre ambos sistemas debe ser permanente. Los cimientos de edificios o estructuras pueden utilizarse como el sistema principal del SPT, siempre y cuando haya sido diseñado y construido para tal fin.

El uso de rellenos químicos representa una alternativa para reducir la resistencia de puesta a tierra en aquellos lugares con resistividades del suelo elevadas. Estos rellenos químicos deben ser inertes al medio ambiente y no dañar a los elementos del SPT por efecto de corrosión.



Detalle típico de registro para **electrodo de puesta a tierra**

FIGURA 21.- Diagrama de conexión de los electrodos de puesta a tierra mediante una trayectoria cerrada alrededor de la estructura o instalación con registros en las esquinas

4.3.4.6 Resistencia de puesta a tierra

El valor de la resistencia en el diseño del arreglo del SPT debe ser menor o igual a 10Ω .

Para el caso en el que se tengan sistemas de puesta a tierra para diferentes servicios existentes dentro de una misma instalación (sistema de energía eléctrica, sistema de telecomunicaciones, etc.) la resistencia de puesta a tierra del SPT antes de la conexión con los sistemas existentes debe ser menor o igual a 10Ω .

Antes de diseñar el SPT debe obtenerse la resistividad del suelo, tal y como se indica en el Apéndice B.

La resistencia de puesta a tierra obtenida en el diseño siempre debe verificarse por medio de mediciones en campo, aplicando la metodología establecida en el Apéndice C.

4.3.4.7 Electrodos de puesta a tierra en suelos de alta resistividad

Cuando el suelo es rocoso, resulta muy difícil y costoso obtener valores bajos de resistencia de puesta a tierra mediante un SPT como el indicado en 4.3.4.4, debido a los problemas en la obtención de la profundidad de enterramiento, por lo que en este caso no aplica el valor máximo de $10\ \Omega$. En este caso, debe tenerse especial cuidado de obtener una superficie equipotencial para reducir las diferencias de potencial que pongan en riesgo a las personas y al equipo. Algunas medidas que pueden adoptarse para este tipo de suelos son:

- a) Arreglo de electrodos horizontales y verticales de puesta a tierra formando un lazo cerrado alrededor de la estructura a la profundidad que el suelo lo permita e interconectarlo con el acero de refuerzo o estructural de la instalación. Deben evitarse en lo posible arreglos con trayectorias abiertas. En caso de que no sea posible enterrar dicho arreglo, éste debe ubicarse en contacto directo sobre la superficie del suelo rocoso, con una cubierta de concreto con el objeto de evitar que las personas tengan un contacto directo con el conductor y ofrecer una protección contra daño mecánico y condiciones ambientales.
- b) Utilizar el acero de refuerzo de los cimientos de la estructura como el SPT.
- c) Instalar un SPT auxiliar en zonas con suelos no rocosos o con resistividades más bajas cercanos a la instalación y conectarlo al SPT de la instalación mediante conductores enterrados de conexión. Se recomienda, al igual que en el inciso (a), recubrir los conductores de conexión con concreto cuando sea imposible instalarlos bajo el suelo.
- d) Debe considerarse la utilización de electrodos profundos para los casos en que sea imperativo obtener un valor de resistencia de puesta a tierra menor que $10\ \Omega$.

4.3.4.8 Reducción del peligro de choque eléctrico

La circulación de la corriente en los conductores de bajada y en los elementos del **sistema de puesta a tierra** puede producir condiciones y/o gradientes peligrosos que pueden poner en riesgo la vida de los seres vivos por choque eléctrico. Con el objeto de reducir el peligro de choque eléctrico, deben cumplirse los requisitos siguientes:

- a) Proveer una canalización no metálica con resistencia a la intemperie sobre la superficie del **conductor de bajada** con el objeto de reducir la posibilidad de contacto accidental o incidental de los seres vivos.
- b) Un aviso de precaución debe instalarse con la siguiente leyenda: "PELIGRO: EVENTUAL CORRIENTE DE RAYO". La canalización debe instalarse a una altura mínima de 2,0 m a partir del nivel de piso terminado y donde la sección transversal del **conductor de bajada** represente un tercio del área interna de la canalización.
- c) Unir eléctricamente (por debajo del nivel de piso) todos los elementos metálicos y acero de refuerzo de la estructura a proteger al SPT, mediante electrodos de puesta a tierra horizontales a una profundidad mínima de 0,6 m
- d) Instalar un arreglo del SPT como el indicado en la figura 19, o proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de personas a través de una capa de concreto de 0,10 m como mínimo o una capa de grava triturada

intermedia de 0,10 m como mínimo entre el terreno natural y los elementos enterrados del **sistema de puesta a tierra**.

4.3.4.9 Cálculo y mediciones del sistema de puesta a tierra

Respecto al cálculo y mediciones del sistema de puesta a tierra, véase Apéndice C.

4.4 Diseño del sistema interno de protección contra tormentas eléctricas SIPTÉ

4.4.1 Unión equipotencial (UE)

La UE es un procedimiento de control y seguridad, mediante el cual se logra la igualación de los equipotenciales de todos o parte de los elementos metálicos de una instalación. Esta igualación de los equipotenciales se efectúa mediante la conexión física a un punto común.

La función de la unión equipotencial es reducir las diferencias de potencial generadas por rayo cuando éste incide en los elementos de intercepción de un SEPTÉ, sobre o en las cercanías de la instalación o estructura. La diferencia de potencial puede producir la circulación de corrientes indeseables y la generación de arcos eléctricos con el riesgo de fuego y explosión en áreas peligrosas o bien algún daño físico tanto a los seres vivos como al equipo.

Una vez lograda la unión equipotencial a un punto común, debe realizarse una conexión entre dicho punto y la red del SPT de la instalación.

4.4.1.1 Elementos para lograr la UE

Los elementos que deben utilizarse para lograr la UE son los siguientes:

- a) Conductores de unión. Los conductores se utilizan para interconectar dos partes metálicas. La longitud de estos conductores de unión debe ser lo más corta posible y la sección transversal debe cumplir con los valores indicados en el capítulo 6.
- b) Barras de unión. Las barras se utilizan para interconectar, mediante los conductores de unión, elementos metálicos de diversos sistemas (energía eléctrica, telecomunicaciones, gas, agua, etc.), así como los elementos estructurales metálicos de la instalación a un solo punto de unión.
- c) Supresores de sobretensiones transitorias (SSTT). Estos supresores se utilizan en los dos casos siguientes: 1) para la protección de equipo eléctrico o electrónico sensible y 2) donde no se permite el uso de conductores de unión, como por ejemplo en la unión de dos piezas metálicas aisladas entre sí en tuberías de gas, y por restricciones del sistema de protección catódica.

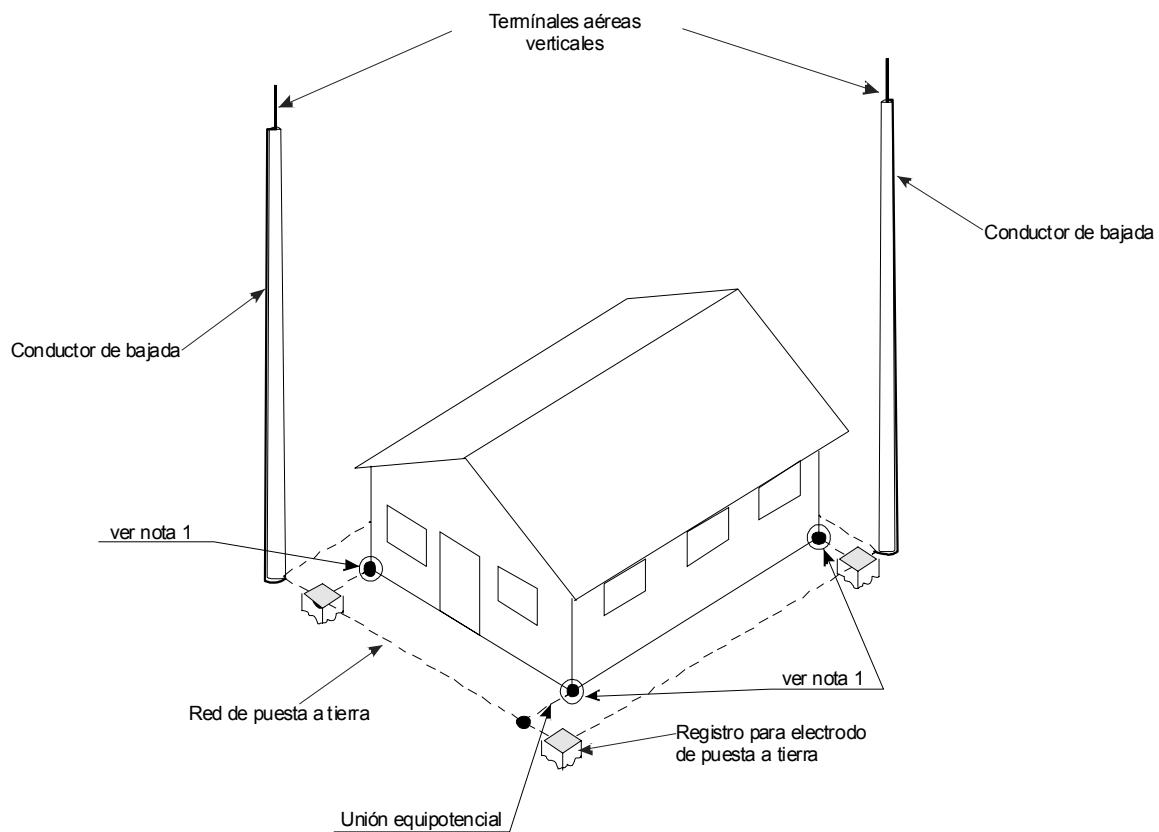
4.4.1.2 UE a nivel externo para un SEPTÉ aislado

- a) Mástiles separados de la instalación a proteger

La UE entre los elementos del SEPTÉ aislado y la instalación a proteger debe realizarse únicamente a nivel del suelo, véase figura 22. En esta figura se indica el detalle genérico de conexión.

- b) Mástiles montados sobre la instalación a proteger

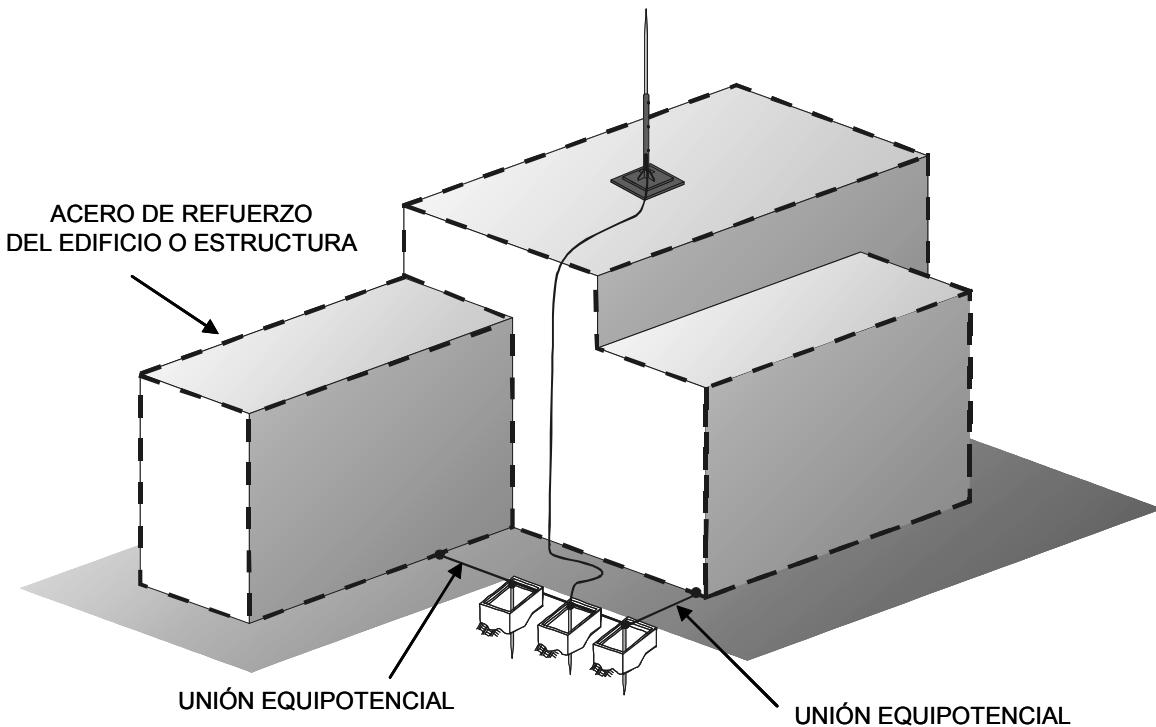
La UE entre los elementos del SEPTE aislado y la instalación a proteger debe realizarse únicamente a nivel del suelo, véase figura 23. La distancia d_0 indicada en 4.3.3.3.2 debe cumplirse y la **distancia de seguridad "s"** entre los elementos metálicos del SEPTE, y la estructura a proteger debe estar de acuerdo con 4.3.3.4.



NOTAS

- 1 Los detalles típicos de las conexiones al acero estructural de la instalación se indican en las figuras 25, 26 y 27.
- 2 La posición, altura y conexión de las **terminales aéreas** es representativa de la figura, no indica parámetros de diseño.

FIGURA 22.- Ejemplo de un SEPTE aislado y separado de la estructura a proteger, en donde la unión equipotencial debe realizarse a nivel de tierra con la estructura a proteger



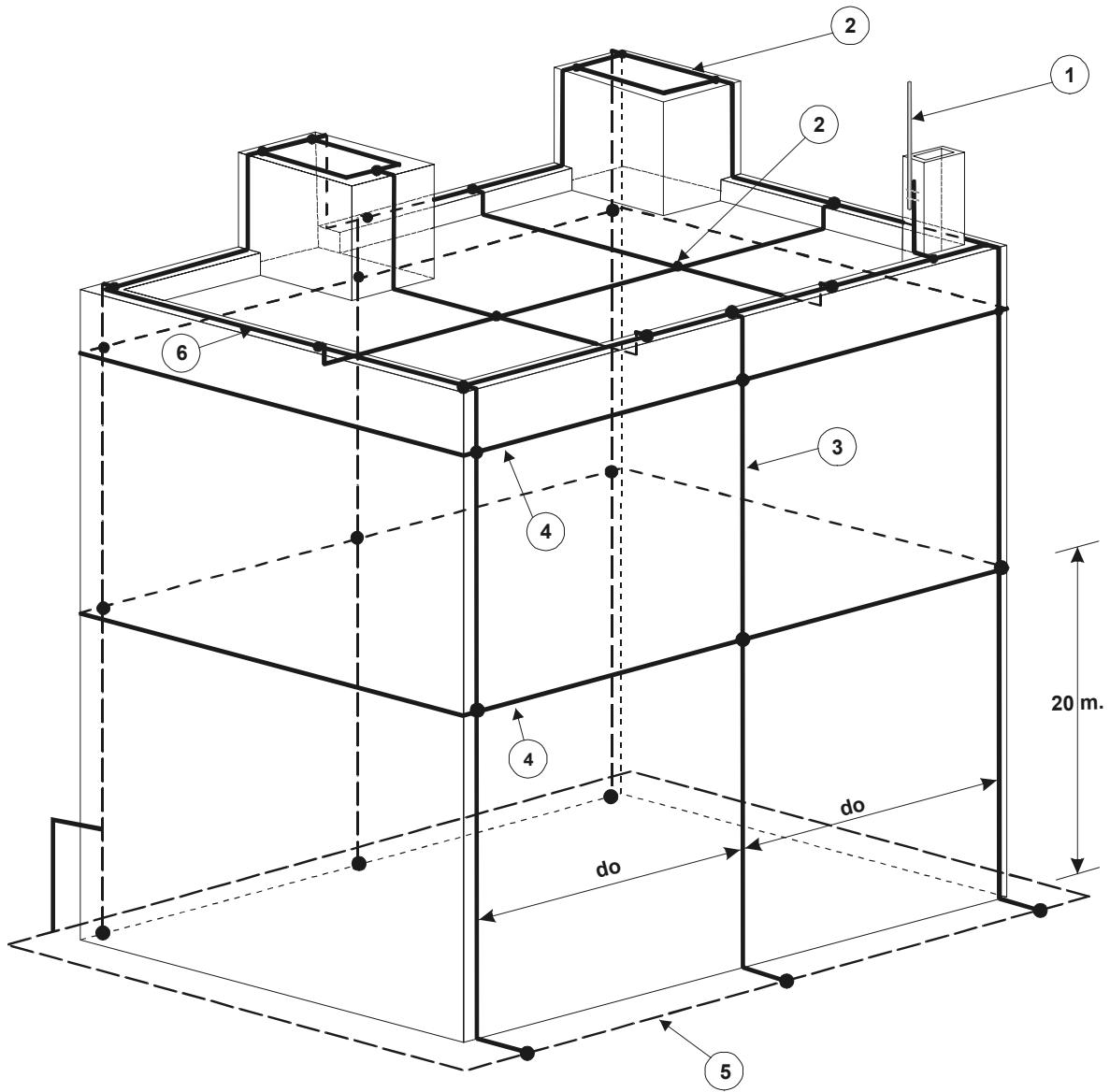
NOTA- Para el SEPTE aislado las **terminales aéreas** y los conductores de bajada deben respetar la **distancia de seguridad "s"** indicada en 4.3.3.4 de los elementos del SEPTE a la estructura.

FIGURA 23.- Arreglo típico de la conexión para lograr la unión equipotencial

4.4.1.3 UE a nivel externo: para un SEPTE no aislado

Con un SEPTE no aislado como medio de protección, debe cumplirse los puntos de UE mínimos siguientes:

- 1.- Instalar 2 placas de unión como mínimo, adheridas al acero de refuerzo o perfil metálico de la cimentación, colocadas diametralmente opuestas, tanto en azoteas como en la planta baja o sótano de la instalación, como preparación para la UE, actual o futura.
- 2.- A nivel del techo, cuando la estructura a proteger esté parcial o totalmente cubierta por elementos metálicos, debe tenerse especial cuidado de lograr la UE entre los elementos del SEPTE y los elementos metálicos, con una conexión firme y continua al SPT a partir del punto de la UE. Tratándose de un SEPTE no aislado, los elementos del SPTE en el nivel del techo deben interconectarse al acero de refuerzo de la instalación. Véase figura 24.
- 3.- A nivel del suelo, los elementos metálicos estructurales de la instalación deben conectarse al SPT, directamente o a través de placas o barras de unión. Véase figura 24.



- 1 terminal aérea
- 2 terminal aérea horizontal
- 3 conductor de bajada
- 4 conductor de anillo equipotencial
- 5 SPT
- 6 conexión de terminales aéreas y conductores de bajada a nivel de techo

FIGURA 24.- Diagrama entre los elementos del SEPTE con el SPT, para lograr la UE en edificios o estructura de 60 m o menor, construida de concreto armado o perfiles metálicos

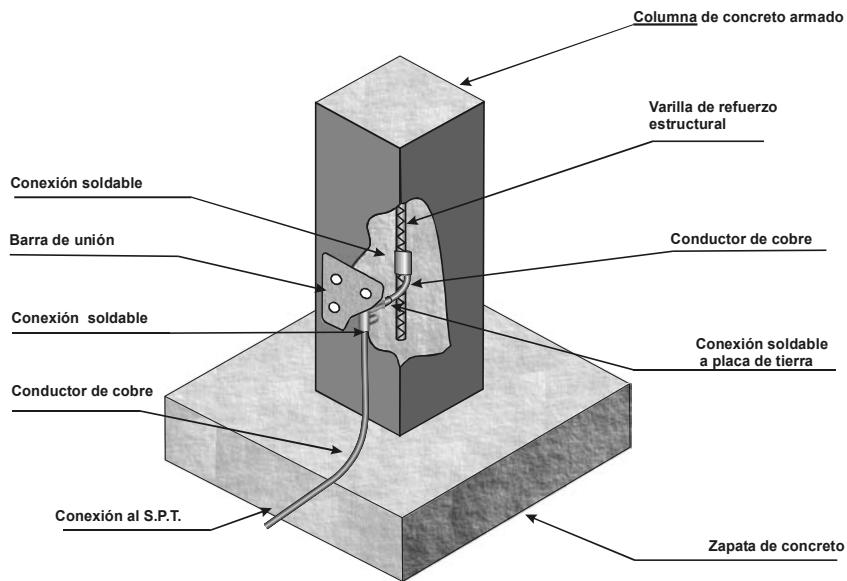


FIGURA 25.- Detalle típico de conexión al acero de refuerzo

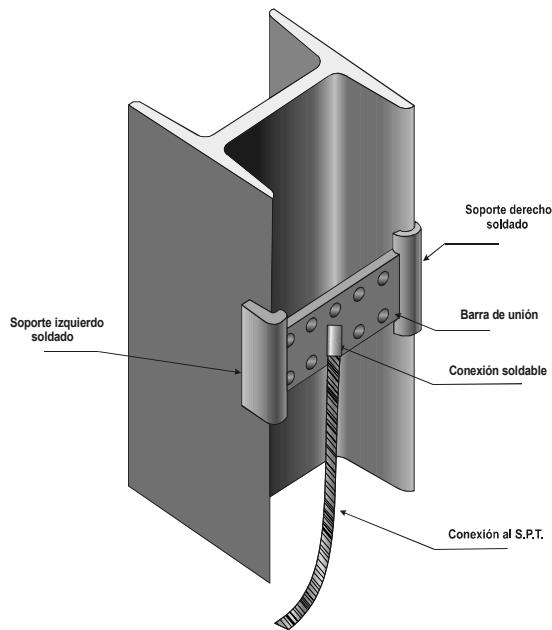


FIGURA 26.- Detalle típico de conexión al acero de refuerzo (viga de acero)

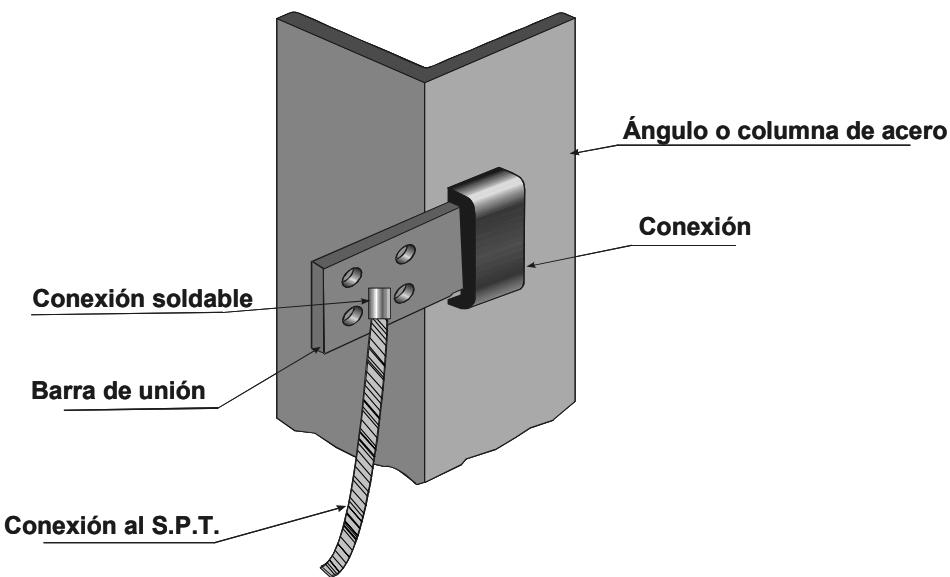
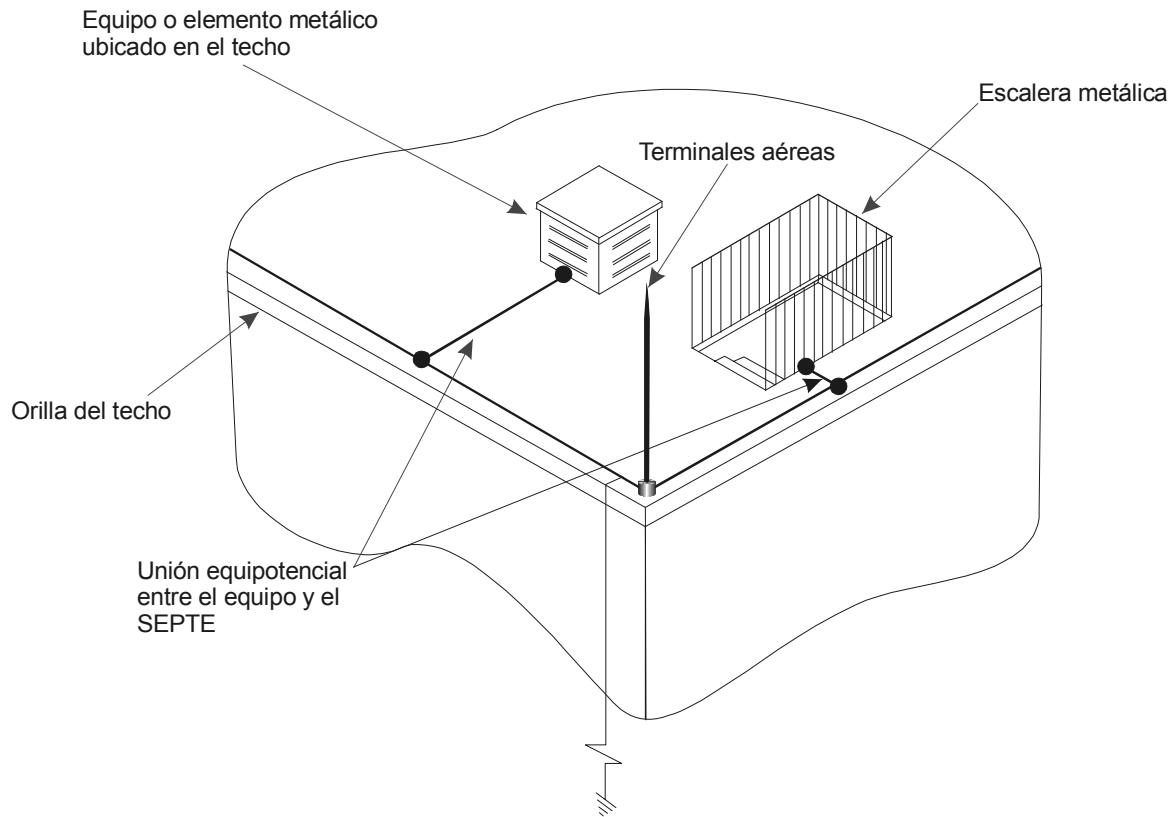


FIGURA 27.- Detalle típico de conexión al acero de refuerzo (ángulo)

Cuando las partes metálicas de la estructura (vigas y tráves de acero) se utilicen como conductores de bajada naturales, éstas pueden ser consideradas como un medio para lograr la UE, verificando que los puntos de unión entre tráves y columnas mantengan continuidad eléctrica y estén firme y permanentemente unidas al SPT.

Si la instalación está formada de dos o más niveles, debe realizarse la UE en cada uno de los niveles para los equipos y elementos metálicos existentes, así como para los diferentes servicios que entran y salen. Todas estas interconexiones para lograr la UE deben tener una conexión firme y lo más corta posible al SPT.

Las partes metálicas que se encuentren fuera del volumen a proteger, que no cumplan con la distancia mínima de seguridad o que representen peligro de electrocución para el personal, deben conectarse a los elementos del SEPETE utilizando la trayectoria más corta posible. En los lugares donde estas partes o elementos metálicos tengan una longitud considerable (cables, tubos, canaletas de agua pluvial, escaleras, entre otros) y su trayectoria sea paralela a los conductores de bajada o columnas de la estructura, deben interconectarse en cada extremo y a un intervalo promedio de 10 m a lo largo de su trayectoria.

**NOTAS**

- 1 La posición y la altura de la terminal aérea son representativas del dibujo; no indica parámetros de diseño
- 2 El equipo o los elementos metálicos pueden ser, entre otros, aire acondicionado, tanque de gas, jaulas metálicas de servicio, antenas de televisión, satelital y por cable, barandales, acero de refuerzo, etc.

FIGURA 28.- Ejemplo ilustrativo de la UE en la parte externa a nivel del techo para un SEPTE no aislado

Las instalaciones formadas por partes estructurales (de concreto con acero de refuerzo) de una sola pieza (prefabricadas) y ensambladas en sitio de tal manera que no exista una continuidad eléctrica entre sus partes metálicas, no deben utilizarse como conductores de bajada naturales o como un medio para lograr la unión equipotencial.

Si la instalación está hecha de material aislante (madera, tablaroca) y se tiene instalado un SEPTE, debe verificarse que se cumpla la distancia indicada en 4.3.3.4 entre los conductores de bajada y el material de la instalación, desde el punto requerido hasta el punto de UE a nivel del suelo.

La UE entre elementos metálicos (sea del SEPTE o no) con el sistema de protección catódica debe realizarse con especial cuidado, bajo la supervisión del responsable del sistema de protección catódica, con el fin de no afectar la operación de dicho sistema.

Es importante realizar la UE entre las partes metálicas de los servicios que entran o salen de la estructura y el SPT. La omisión de la unión equipotencial puede someter a los elementos metálicos del servicio a posibles arcos eléctricos a través del suelo, aumentando el **riesgo de daño** y perforaciones.

4.4.1.4 UE a nivel interno

La figura 29 muestra un arreglo conceptual de la UE a nivel interno. El concepto de UE es radial, en donde las barras de unión deben interconectarse entre sí, sin formar lazos cerrados y conectados firmemente a la barra de unión maestra o principal, y ésta conectada al SPT principal.

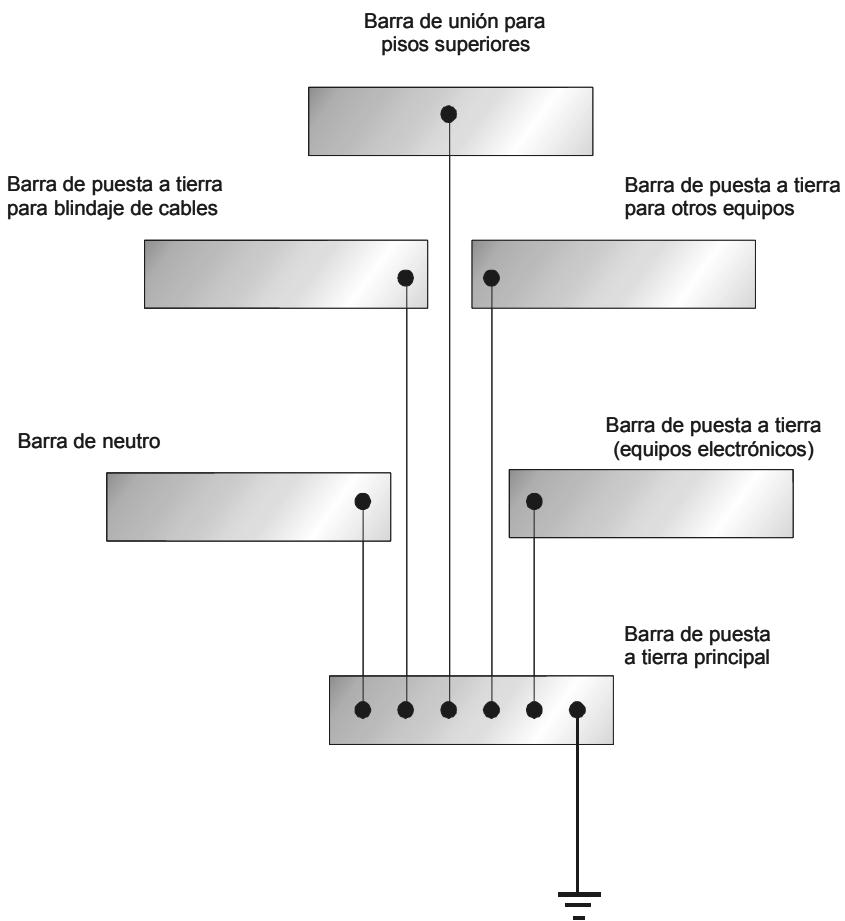
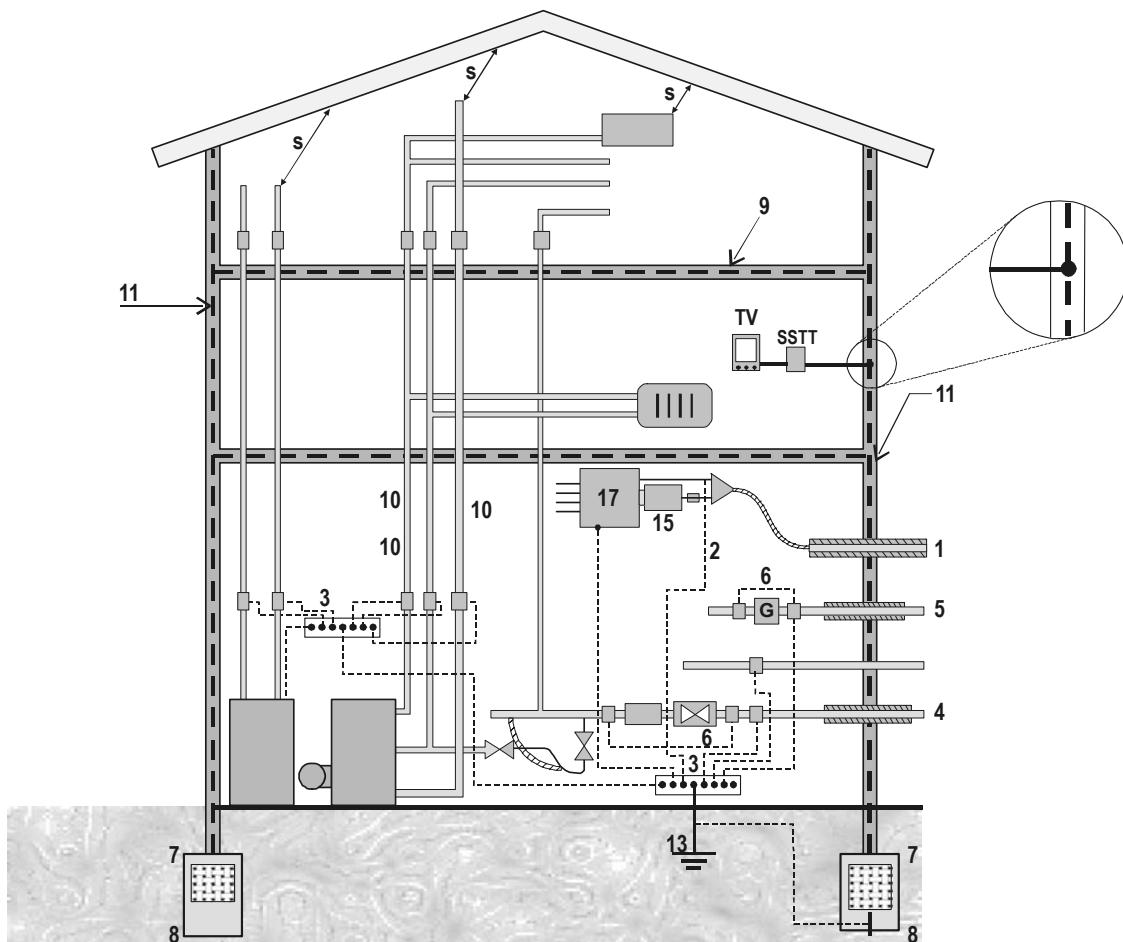


FIGURA 29.- Arreglo conceptual de la UE a nivel interno

La figura 30 muestra un arreglo típico para la UE a nivel interno de una instalación construida de concreto armado o acero estructural, en donde los servicios entran en un solo punto, utilizando más de una barra de unión para lograr la UE de las diferentes partes internas. Los requisitos siguientes deben cumplirse, los cuales están en la figura 30.

- a) Las dos barras o placas de unión indican que se puede tener más de una barra de unión para lograr la UE a nivel interno, pero siempre interconectadas entre sí y al SPT. Este esquema se aplica particularmente para instalaciones de pequeñas dimensiones. Cuando la instalación es grande o larga, pueden instalarse dos o más arreglos como el indicado en la figura 29 en forma independiente, sin ninguna interconexión entre barras principales.
- b) Las conexiones de los diferentes servicios o elementos metálicos en cada barra de unión debe realizarse en forma radial (un solo punto), sin formar lazos cerrados entre servicios que puedan generar corrientes indeseables, como se indica en el arreglo conceptual de la figura 29.

- c) La conexión de los elementos metálicos en pisos intermedios (punto 9 de la figura 30) puede ser directamente al acero de refuerzo o estructura metálica de la instalación o a través de una o varias barras de unión instaladas en cada piso.
- d) Una barra de unión debe estar siempre localizada cerca del tablero principal de alimentación eléctrica, donde deben también conectarse los elementos metálicos de los servicios que entran o salen.



- 1 cable de acometida
- 2 cables de puesta a tierra
- 3 barras de unión, en donde la barra del lado derecho cumple la función de barra principal
- 4 tubería metálica de agua.
- 5 tubería metálica de gas.
- 6 interconexión del medidor de gas.
- 7 electrodo de puesta a tierra "natural" formado por los cimientos de la estructura.
- 8 conexión de los cimientos a la barra principal
- 9 acero de refuerzo entre pisos.
- 10 acero de refuerzo dentro del edificio.
- 11 acero de refuerzo de columnas.
- 12 sistema de puesta a tierra SPT.
- 13 medidor de energía eléctrica.
- 14 SSTT.
- s distancia de seguridad.

FIGURA 30.- Ejemplo de UE a nivel interno, en una estructura

4.4.1.5 UE en instalaciones de telecomunicaciones

La figura 31 muestra un ejemplo de la UE para un sistema de telecomunicaciones con estructura de concreto con acero de refuerzo (concreto armado). En este caso la barra de unión puede sustituirse por una placa de mayor tamaño con la cantidad de barrenos suficientes para agrupar varios sistemas y lograr la UE de los diferentes servicios que entran.

Para los servicios como energía eléctrica, gas, agua, telefonía, datos, entre otros, se recomienda que tengan un punto común de entrada o salida para facilitar la UE a través de barras de unión y su correspondiente puesta a tierra, véase figura 30.

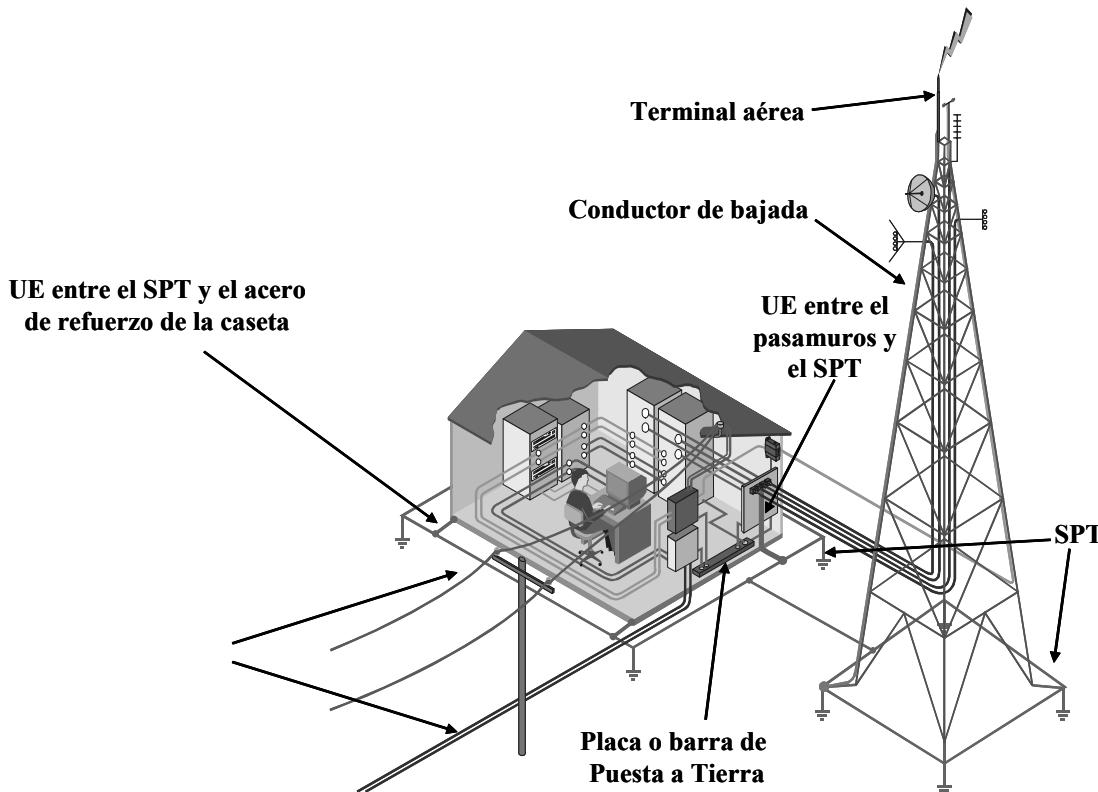


FIGURA 31.- Ejemplo de UE para una estructura de telecomunicaciones construida de concreto armado

4.4.1.6 UE y blindaje electromagnético

Cuando un rayo incide sobre la estructura o edificio, sobre los elementos de intercepción del SEPTE o en las cercanías del edificio (hasta unos 10 km), se generan corrientes indeseables a lo largo de las partes metálicas, ya sean conducidas o inducidas. La circulación de estas corrientes no deseadas produce diferencias de potencial entre diversos puntos de la instalación y campos magnéticos que pueden afectar los equipos electrónicos sensibles ubicados en la instalación, y generar corrientes circulantes y potenciales en los circuitos de baja tensión. Estas corrientes no deseadas y sus efectos adversos no pueden evitarse, pero sí reducirse mediante las siguientes medidas:

- a) Aumentar la distancia de separación entre los elementos metálicos susceptibles de llevar **corriente de rayo** y el equipo a protegerse,
- b) Disminuir el campo eléctrico alrededor y al exterior del conductor que lleva la **corriente de rayo**,

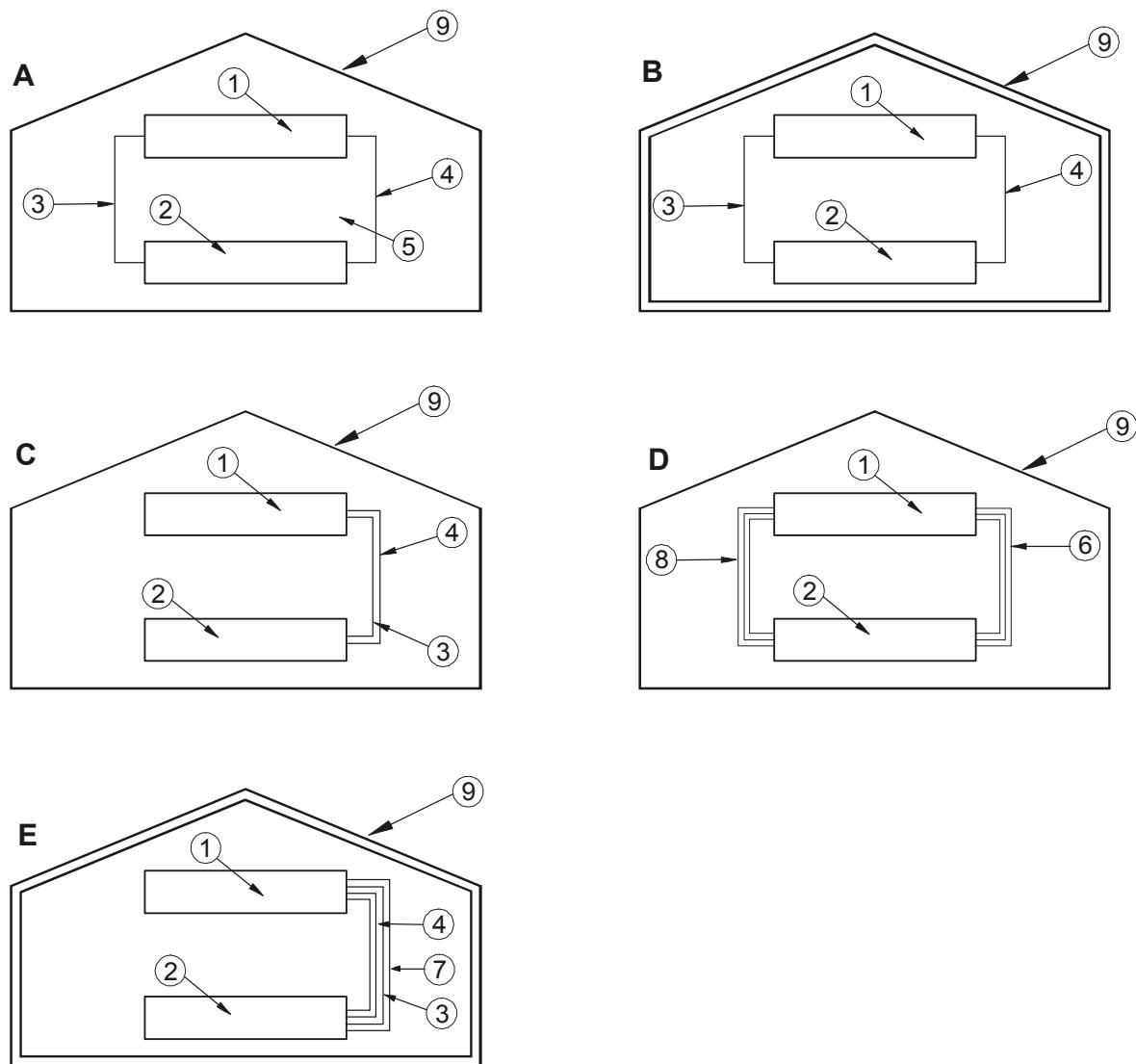
- c) Definir trayectorias de alambrado de tal manera que se reduzcan los acoplamientos magnéticos (véase figura 32), así como considerar el blindaje de los mismos (véase figura 33) y,
- d) Aplicar medidas de UE, véase figura 34.

El inciso a) está relacionado con la posición de los conductores que llevan **corriente de rayo** (conductores de bajada o acero estructural de la instalación), así como de la ubicación de los equipos a proteger en la instalación, para lograr que el campo magnético que pueda acoplarse a los equipos sea menor. El inciso b) está relacionado con todas aquellas medidas aplicadas para reducir la magnitud de los campos eléctricos y magnéticos que pueda acoplarse con el equipo a proteger, ya sea por distancia o por medios de confinamiento. El inciso c) está relacionado con la definición de las trayectorias del cableado para reducir el área de acoplamiento y medidas de blindaje, reduciendo las tensiones inducidas generadoras de corrientes indeseables. Finalmente, en el inciso d), se indica que la UE proporciona una medida de reducción de diferencias de potencial dañinas, reduciendo la posibilidad de generar corrientes circulantes indeseables.

Deben aplicarse las medidas de reducción de potenciales dañinos y corrientes circulantes indicadas anteriormente, independientemente de que se tenga instalado o no un SEPTE en la instalación a proteger.

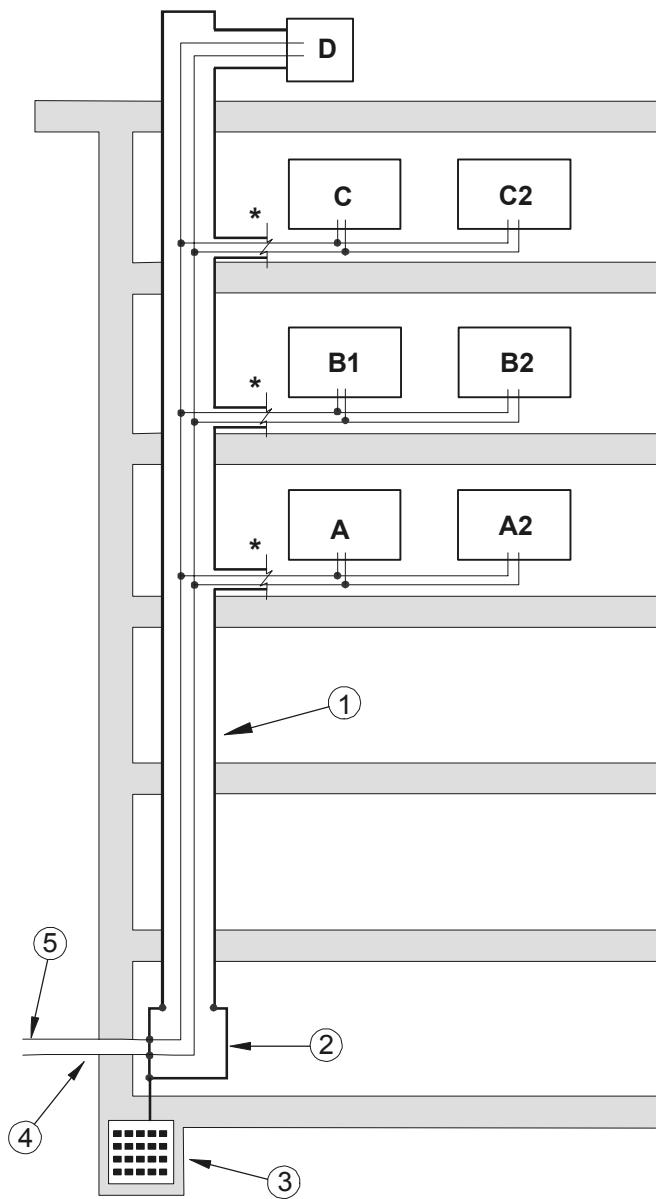
La canalización metálica indicada en la figura 33 debe unirse entre secciones para el cableado principal de la estructura y para suministrar una trayectoria de baja impedancia para la **corriente de rayo** que pueda circular por ella. La canalización metálica proporciona un buen blindaje para el cableado contra los efectos de acoplamiento magnético. Ninguna parte del cableado (eléctrico o de señalización) debe estar fuera de la canalización metálica, y los supresores de sobretensión transitoria (SSTT) deben instalarse en el punto de entrada de la canalización metálica, generalmente definido por el tablero secundario de alimentación eléctrica.

La figura 34 muestra un diseño híbrido de UE para lograr una reducción de los efectos conducidos y de inducción por rayo, generalmente aplicado en un edificio o estructura con equipo electrónico sensible.



- | | |
|---|---|
| A | sistema sin protección |
| B | reducción de efectos adversos mediante medidas de blindaje externo (SEPTE, UE) |
| C | reducción de área de acoplamiento en el cableado |
| D | reducción de inducción por blindaje individual en el cableado |
| E | máxima reducción de inducción por medio de blindaje externo, reducción de área de acoplamiento y es el blindaje individual en el cableado |
| 1 | gabinete metálico del equipo 1 |
| 2 | gabinete metálico del equipo 2 |
| 3 | línea de alimentación eléctrica |
| 4 | línea de datos |
| 5 | lazo o área de acoplamiento |
| 6 | línea de datos con blindaje metálico |
| 7 | blindaje metálico |
| 8 | línea de alimentación eléctrica con blindaje metálico |
| 9 | SEPTE |

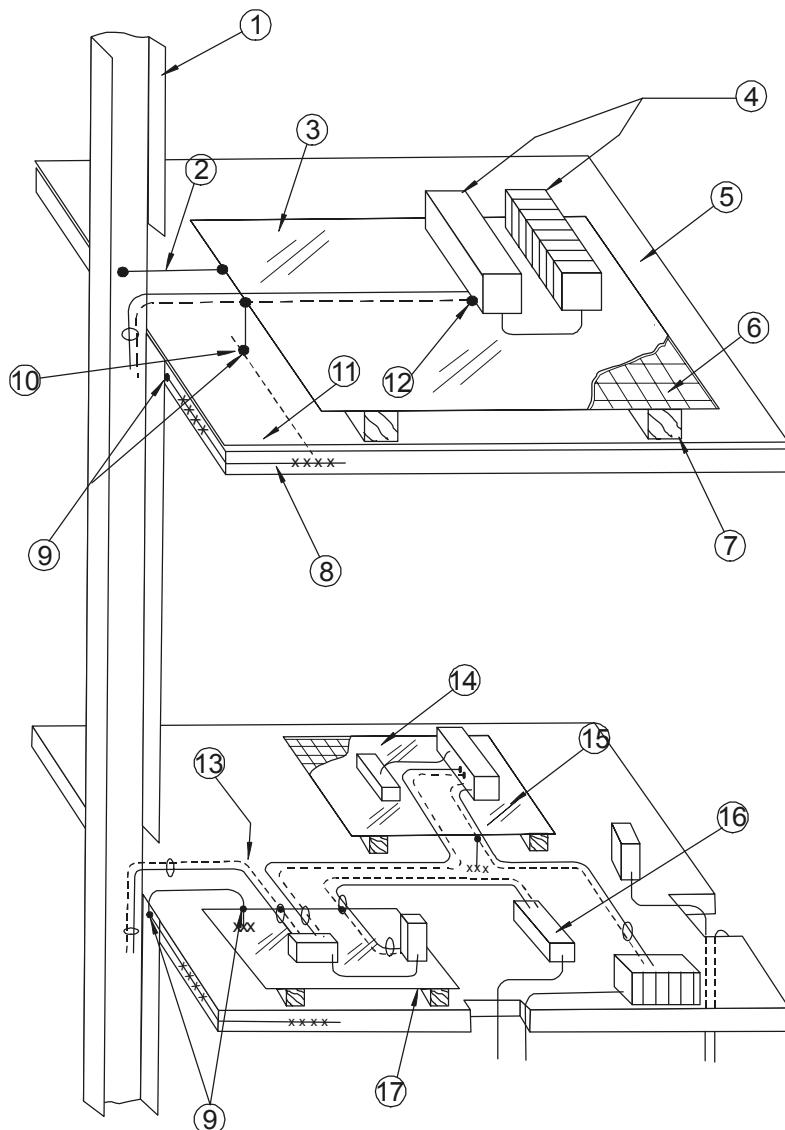
FIGURA 32.- Métodos para reducir las tensiones inducidas por blindaje y por cableado dentro de la estructura, a partir de un sistema sin protección



- A equipo a proteger.
- B equipo a proteger.
- C equipo a proteger.
- D equipo a proteger.
- * localización de los SSTT en el tablero derivado de los circuitos de alimentación.
- 1 canalización metálica de alojamiento para el cableado.
- 2 localización de los SSTT en el tablero principal de la alimentación general de la instalación.
- 3 sistema de Puesta a Tierra SPT.
- 4 línea de energía eléctrica (3F, N, T).
- 5 cable de señalización.

NOTA- Los elementos metálicos de o en la estructura deben unirse equipotencialmente a la canalización metálica

FIGURA 33.- Combinación de blindaje y ruta de cableado para reducir los efectos de las tensiones inducidas. Esta medida aplica para instalaciones con o sin el SEPTE



- 1 canalización metálica de baja impedancia (un ejemplo del sistema de tierra común a la estructura)
- 2 Interconexión entre un solo punto de conexión y la canalización metálica
- 3 zona de protección 2
- 4 zona de protección 3, gabinete del sistema bloque 1
- 5 piso de concreto con acero de refuerzo
- 6 malla de referencia 1
- 7 aislamiento entre la malla de referencia 1 y el sistema común de tierra de la estructura para rayos de más de 10 kV, 1,2/50 µs
- 8 acero de refuerzo del piso
- 9 unión equipotencial de la canalización metálica y el acero de refuerzo
- 10 interconexión 1 en un solo punto
- 11 zona de protección 1
- 12 pantalla metálica del cable conectada al gabinete
- 13 interconexión 2 en un solo punto
- 14 sistema bloque 3
- 15 interconexión 3 en un solo punto
- 16 equipo e instalación existente que no aplica a la conexión híbrida
- 17 sistema de bloque 2

FIGURA 34.- Ejemplo ilustrativo del diseño híbrido de unión equipotencial en una estructura

con equipo electrónico sensible

4.4.2 Puesta a tierra para el interior del edificio o estructura

La puesta a tierra de los equipos eléctricos, electrónicos, estructuras metálicas, tuberías, elevadores, etc., que se encuentran en el interior del edificio o estructura, representa, entre otras cosas, un medio de seguridad, cuyo objetivo principal es garantizar la operación confiable y la integridad física de los equipos ante condiciones anormales, así como la integridad física de las personas. La puesta a tierra debe satisfacer lo indicado en esta norma mexicana, así como lo indicado en la NOM-001-SEDE para instalaciones eléctricas. Asimismo, dichas instalaciones eléctricas, deben contener como mínimo los elementos siguientes, según sea el caso:

- a) Barra de puesta a tierra, la cual debe estar cercana del interruptor o tablero principal de acometida y en pisos superiores cercana a la zona de tableros de distribución eléctricos derivados.

La barra de puesta a tierra puede instalarse empotrada a nivel de piso o pared o sobrepuerta, debe conectarse firmemente al SPT de la instalación o estructura y ubicarse en un lugar accesible y de fácil identificación, por ejemplo, por debajo y cerca del interruptor principal o del tablero de distribución principal; para el caso de subestaciones, colocarla en la pared o en el registro.

NOTA - Es importante disminuir la velocidad de corrosión en la barra de puesta a tierra mediante la aplicación de una pasta antioxidante y conductora. El material de la placa debe seleccionarse de acuerdo a lo indicado en el capítulo 6.

- b) Una conexión del conductor puesto a tierra (neutro) de la acometida o de la subestación propia, a la barra de puesta a tierra.

El neutro de la acometida de baja tensión, en el interior del edificio o estructura, debe conectarse en forma permanente a la barra de puesta a tierra. Cuando exista una subestación eléctrica propia en el edificio o instalación, el neutro debe conectarse en forma permanente a la barra de puesta a tierra. Debe utilizarse una tablilla de terminales para efectuar la unión entre el conductor de puesta a tierra y el conductor puesto a tierra (neutro).

- c) Un conductor desnudo de puesta a tierra (de seguridad) y, en su caso, un conductor de puesta a tierra con aislamiento (en color verde o verde con franjas amarillas) en los circuitos derivados.

Es indispensable que en todos y cada uno de los circuitos derivados para alimentar receptáculos, debe existir un conductor desnudo de puesta a tierra (de seguridad) y, en su caso, un conductor de puesta a tierra con aislamiento (en color verde o verde con franjas amarillas) para equipo electrónico.

- d) Tableros derivados con barras de neutro y tierra.

Cada tablero de distribución principal o derivado debe contar sin excepción con sus barras de neutro y de puesta a tierra, para conectar las terminales de neutro que existan en el tablero y alambrar los circuitos de puesta a tierra que se requieran.

- e) Barra de puesta a tierra (remate) para armarios o gabinetes de electrónica.

La barra de puesta a tierra (remate) debe ubicarse cerca de los armarios o gabinetes de equipo electrónico. La barra debe montarse sobre un elemento aislante y

sobrepuerto en piso o pared. A nivel de planta baja, la conexión a tierra de esta barra debe ser directa desde el SPT; a nivel de pisos superiores, esta conexión debe realizarse al acero de refuerzo del edificio y/o al cable de puesta a tierra. Por razones de unión equipotencial, la barra de puesta a tierra (remate) debe interconectarse al acero de refuerzo del edificio en el piso de ubicación.

- f) Un conductor para derivar desde la barra de puesta a tierra (remate) para armarios o gabinetes de equipo de telecomunicaciones.

El conductor para la puesta a tierra de protección de armarios o gabinetes, debe ser de cobre con aislamiento de color verde o verde con franjas amarillas. Se debe instalar expuesto en pared o sobre soportes plásticos que se fijan en las charolas. Para cada armario, y desde la barra de puesta a tierra de remate, debe instalarse un solo conductor con aislamiento. En cada armario o gabinete se recomienda instalar una barra de puesta a tierra a todo lo ancho del mismo, donde se remata el conductor de puesta a tierra de protección.

- g) Una red de puesta a tierra de referencia para piso falso de salas de cómputo o sitios de telecomunicaciones.

La tierra de referencia de baja impedancia para establecer un plano equipotencial para alta frecuencia, debe construirse bajo el piso falso con elementos de baja inductancia (cintillas de cobre electrolítico o cable plano). Debe tenerse cuidado especial en las conexiones entre los pedestales del piso falso y los conductores de unión. Asimismo, debe instalarse un punto de remate de la tierra de referencia del piso falso (anillo) y éste interconectado a la barra de puesta a tierra de remate. Por ningún motivo deben instalarse redes de puesta a tierra "separadas" del SPT, particularmente para equipo ubicado en niveles superiores.

- h) Puesta a tierra de supresores para transitorios.

La instalación de supresores para la protección de equipo eléctrico y electrónico sensible es indispensable, para garantizar la operación confiable del equipo ante condiciones de sobretensiones. La puesta a tierra para estos protectores debe efectuarse en la barra de puesta a tierra de cada tablero o interruptor, respetando el tamaño del conductor indicado por el fabricante y de acuerdo con la clasificación indicada en 4.4.3. Para el caso de supresores para estructuras o armarios de equipo electrónico, la puesta a tierra de estos protectores debe realizarse en la barra de puesta a tierra del armario.

4.4.3 Supresor de sobretensiones transitorias (SSTT)

4.4.3.1 Puntos de entrada de los transitorios

La figura 35 ilustra un caso típico de entrada y salida de servicios aéreos o subterráneos (energía, voz y datos, instrumentación y control, tuberías metálicas, entre otros). Estos servicios proporcionan un camino para la entrada de sobretensiones transitorias. Esta condición obliga al uso de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias con el fin de proteger los equipos electrónicos sensibles instalados en el interior del edificio.

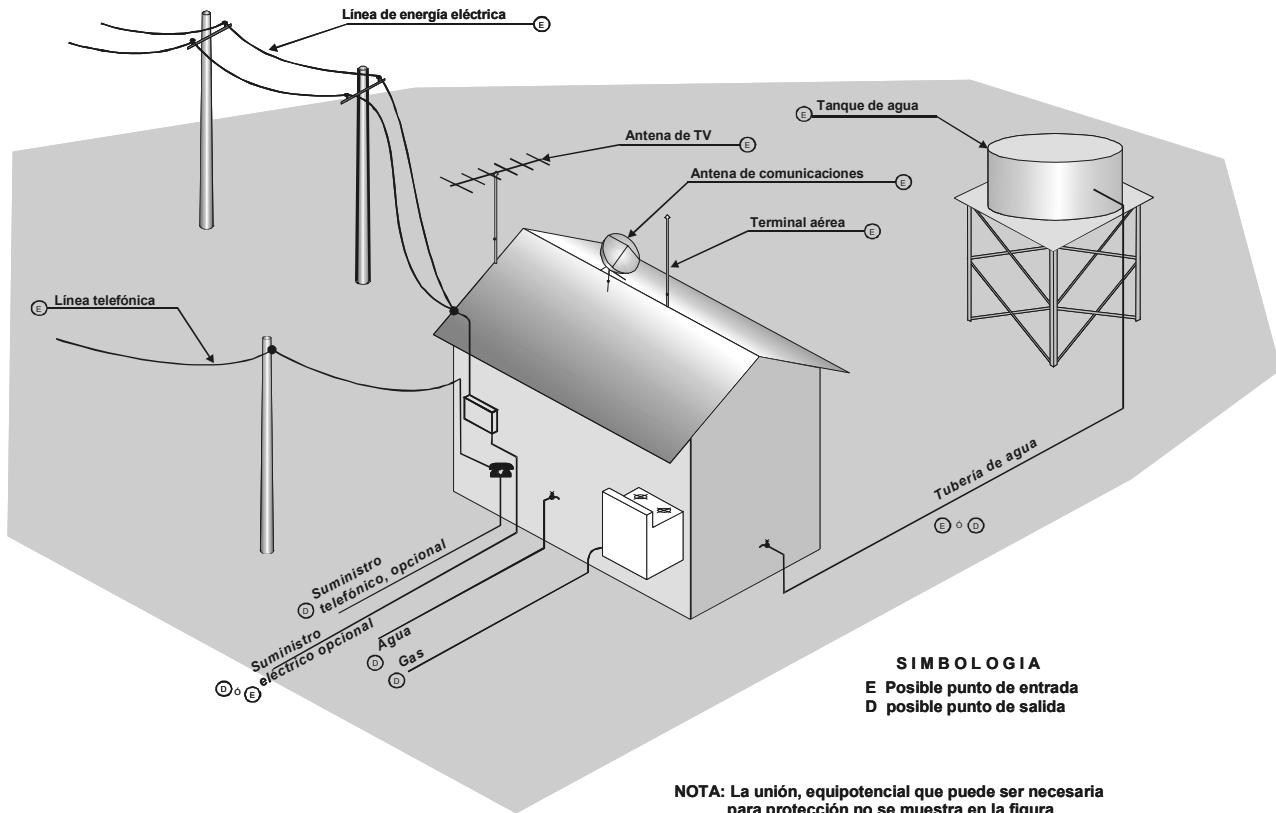


FIGURA 35.- Caminos para la entrada de sobretensiones transitorias

Los tipos de sobretensiones transitorias pueden ser de línea a neutro (modo común), línea a tierra (modo común), línea / neutro a tierra (modo común) y línea a línea (modo diferencial). A continuación se muestran los diagramas de modo diferencial y modo común, véanse figuras 36 y 37.

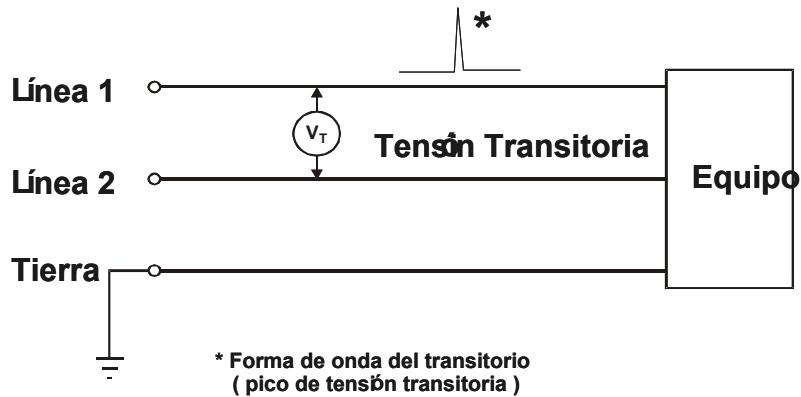


FIGURA 36.- Transitorio de modo diferencial

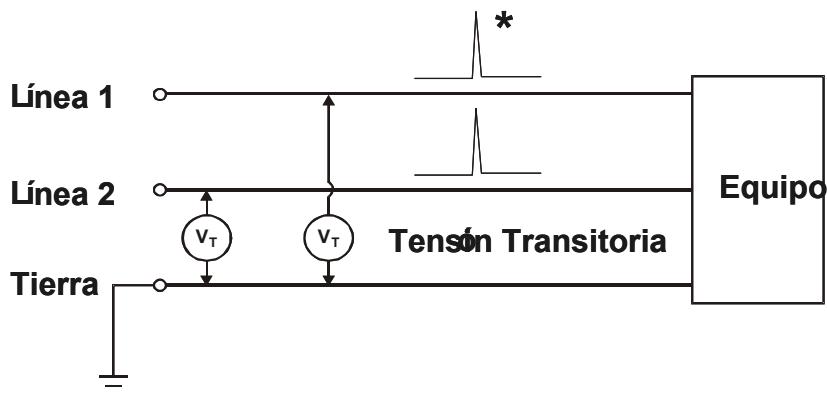


FIGURA 37.- Transitorio de modo común

Los tipos de protección comunmente usados son supresores primarios y secundarios utilizados para la protección de equipos que utilizan alimentaciones con corriente alterna, corriente directa, línea comutada, línea de datos, instrumentación y control, etc.. Véanse figuras 38, 39, 40 y 41.

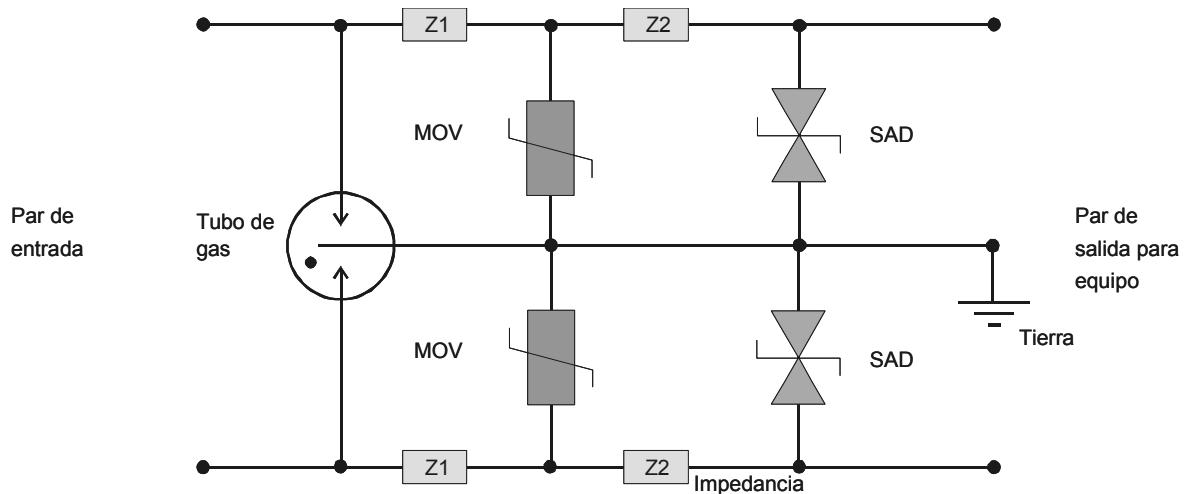


FIGURA 38.- Diagrama ilustrativo de una protección multi etapa para teléfono y circuitos de señales

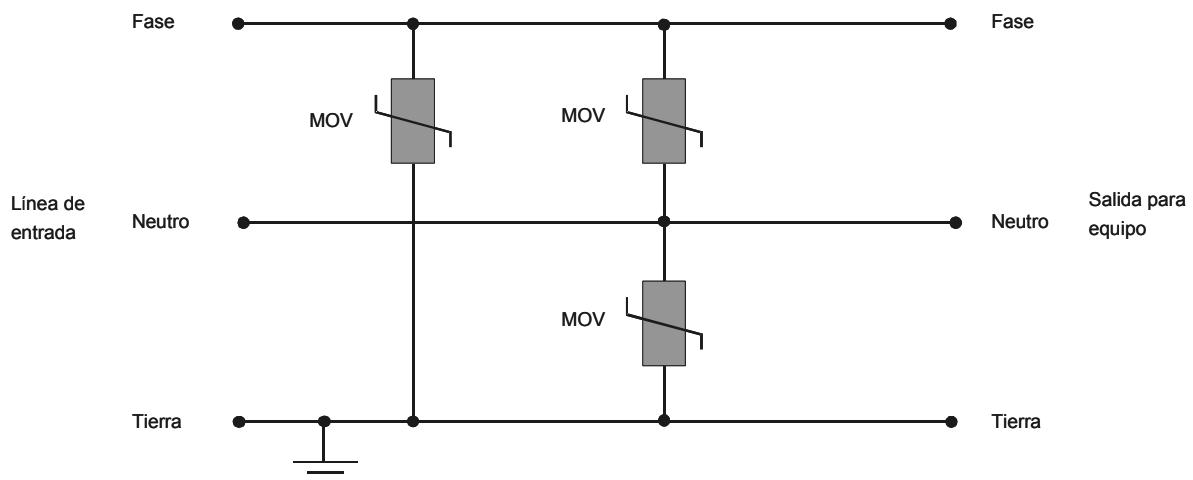


FIGURA 39.- Diagrama ilustrativo de una protección en paralelo para circuitos de baja tensión de corriente alterna

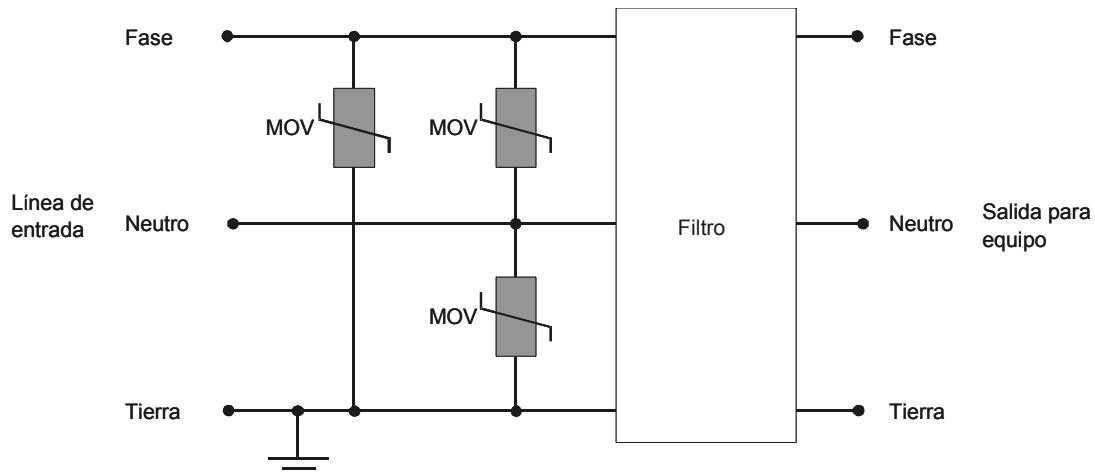
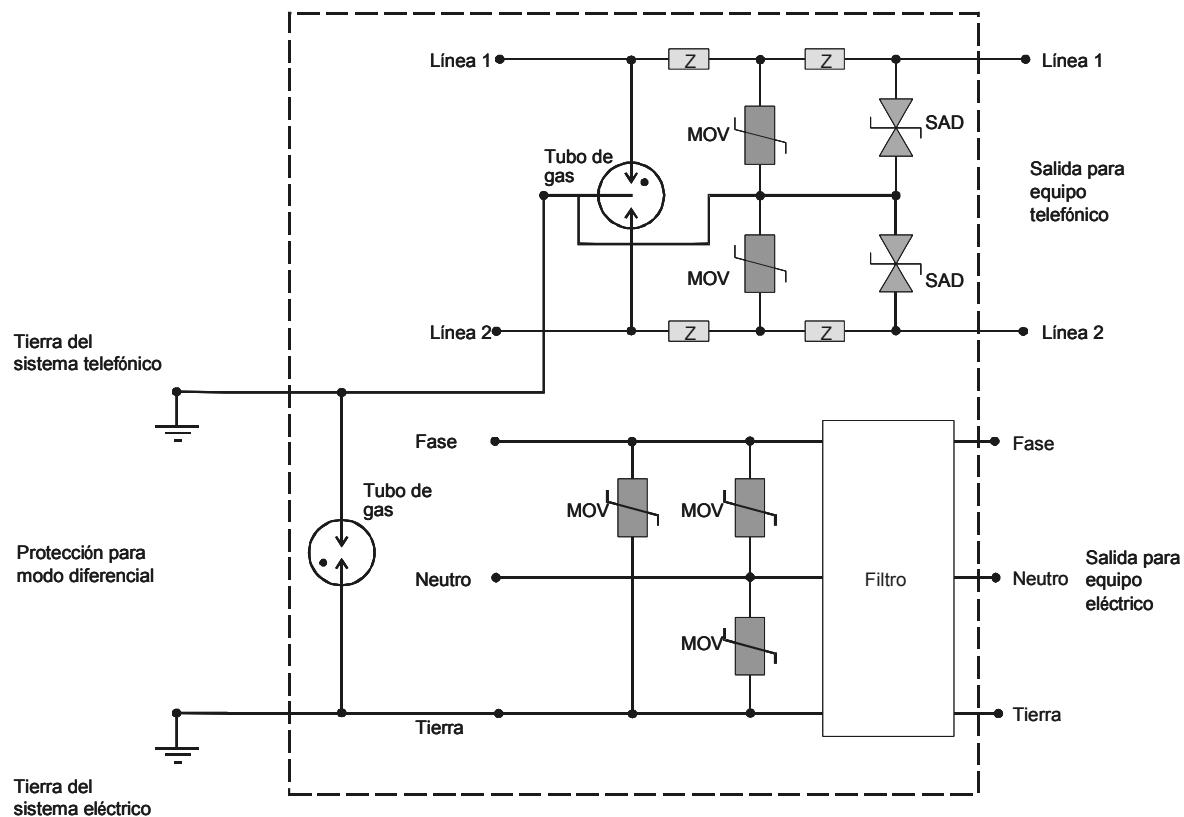


FIGURA 40.- Diagrama ilustrativo de un SSTT con filtro pasa - bajos activo



NOTA - Esta combinación puede manejar inclusive Sistemas de Tierra separados

FIGURA 41.- Diagrama ilustrativo de una protección multi etapa para circuitos de baja tensión y señal telefónica

4.4.3.2 Descripción de categorías de ubicación

Desde el punto de vista de protección con SSTT, la instalación eléctrica se divide en 3 categorías desde la acometida del edificio o estructura hasta el punto de utilización de los equipos. Véase figura 42.

Para la selección genérica de los supresores debe observarse la zona, la categoría, la magnitud (tensión y corriente) y la forma de onda, como se indica en la figura 42.

Los valores indicados en la figura 42 son los mínimos requeridos para la protección con supresores. La selección específica de los supresores debe tomar en cuenta las condiciones reales de exposición de la instalación a eventos de sobretensiones transitorias, las cuales pueden evaluarse mediante mediciones en sitio de la instalación, si esto fuera necesario. También véase tabla 9 y 10.

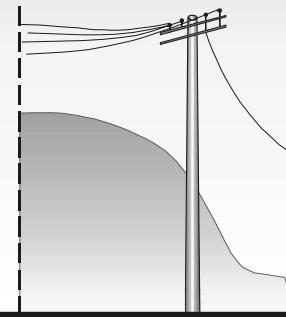
		CAT C	CAT B	CAT A
		Ng: Densidad de rayos a tierra No.rayos /km ² /año		
				
		ACOMETIDAS EN SITIOS MONTAÑOSOS	ACOMETIDAS EN ZONAS RURALES	ACOMETIDAS EN LA CIUDAD
ALTA	Ng>2	100 kA	70 kA	40 kA
MEDIA	Ng=0.5-2	65 kA	40 kA	20 kA
BAJA	Ng<0.5	63 kA	40 kA	15 kA
			TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN EN B.T. (CONTACTOS) PUNTOS ALEJADOS DE LA ACOMETIDA
			20 kA	10 kA
			20 kA	5 kA
			5 kA	3 kA

FIGURA 42.- Categorías para la selección de supresores

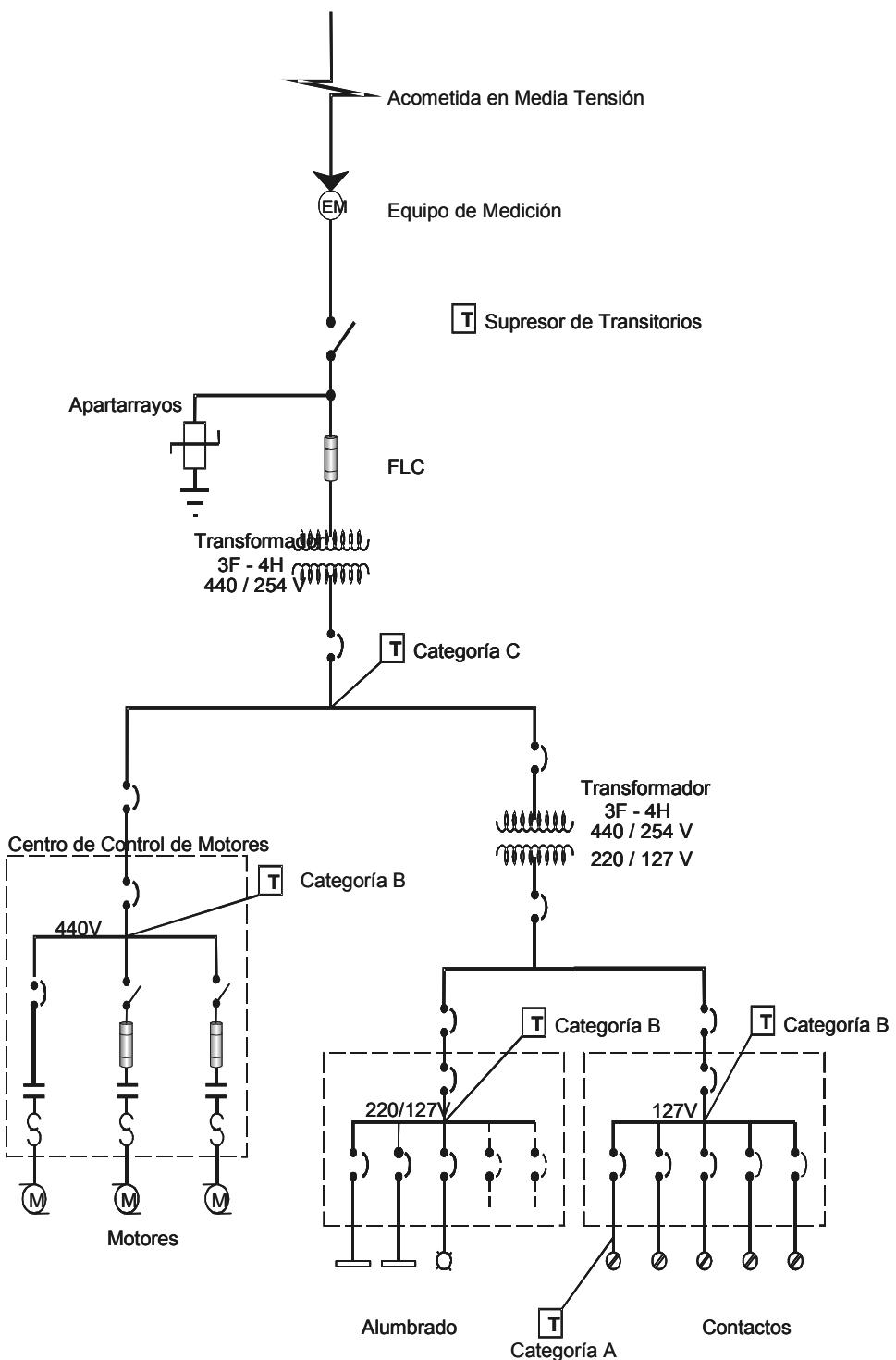


FIGURA 43.- Diagrama ilustrativo para la aplicación de supresores

TABLA 9.- Tecnologías utilizadas en los supresores de transitorios

Tecnologías	Características			
	Descripción	Tensiones de ruptura o intervalo de tensión	Corriente de descarga	Tiempo de disparo
DISPOSITIVOS DE DESCARGA EN GAS	Tubos de vidrio o cerámica llenos con un gas inerte y sellados con uno o más electrodos metálicos	Tensión de ruptura desde 70 V hasta 15 kV	Hasta 60 kA	Desde 10 μ s hasta 500 μ s
VARISTORES (MOV's)	Resistencias no lineales cuyo valor esta en función de la tensión. Se construyen mediante elementos de óxidos metálicos, mejor conocidos como MOV's.	Tensión de operación desde 10 V hasta 1 kV	Del orden de varios kiloamperes	Desde 35 ns hasta 50 ns
DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO (SAD's)	Diodos zener especiales llamados diodos de avalancha o SAD's.	Tensión de operación desde 5 V hasta 600 V	Del orden de varios cientos de amperes	Del orden de 5 ns

TABLA 10.- Recomendaciones para selección de los supresores para corriente alterna

Tipo de estructura	Tipo de protección	Sistema de distribución	Ubicación /categoría	Onda de prueba	Tipo de servicio	Autoprotección por variaciones de tensión
CASA	Primaria	3F, 4H + T, 220 V/127 V	Acometida, categoría C	20 KV, 1,2/50 μ s 20 kA, 8/20 μ s	Interior IP 1	Recomendado
		1F, 2H + T, 127 V	Acometida, categoría B	6 kV, 500 A 100 kHz 6 kV 1,2/50 μ s 3 kA 8/20 μ s	Exterior IP 4X	Recomendado
	Secundaria	1F, 2H + T, 127 V	Punto de uso categoría A	6 kV, 200 A 100 kHz	Interior IP 1	
EDIFICIOS COMERCIALES	Primaria	3F, 4H + T, 220 V/127 V	Acometida, categoría C	20 KV, 1,2/50 μ s 20 KA, 8/20 μ s	Interior IP 1	Recomendado
		3F, 4H + T, 220 V/127 V	Circuito derivado categoría B	6 KV, 500 A 100 kHz 6 kV 1,2/50 μ s 3 kA 8/20 μ s	Exterior IP 4X	Recomendado
	Secundaria	3F, 4H + T, 220 V/127 V	Punto de uso categoría A	6 kV, 200 A 100 kHz	Interior IP 1	Recomendado
		1F, 2H + T, 127 V	Punto de uso categoría A	6 kV, 200 A 100 kHz	Interior IP 1	
INDUSTRIAL	Primaria	3F, 4H + T, 480 V/277 V	Acometida, categoría C	20 KV, 1,2/50 μ s 20 kA, 8/20 μ s	IP 12, IP 3R y IP 4X	Recomendado
		3F, 4H + T, 220 V/127 V	Circuito derivado, categoría C	20 KV, 1,2/50 μ s 20 kA, 8/20 μ s	IP 12, IP 3R y IP 4X	Recomendado
	Secundaria	3F, 4H + T, 220 V/127 V	Circuito derivado, categoría B	6 KV, 500 A 100 kHz 6 kV 1,2/50 μ s 3 kA 8/20 μ s	IP 12, IP 3R y IP 4X	Recomendado
		1F, 2H + T, 127 V	Circuito derivado, categoría B	6 kV, 500 A 100 kHz 6 kV 1,2/50 μ s 3 kA 8/20 μ s	IP 12, IP 3R y IP 4X	
			Punto de uso, categoría A	6 kV, 200 A 100 kHz	Interior IP 1	

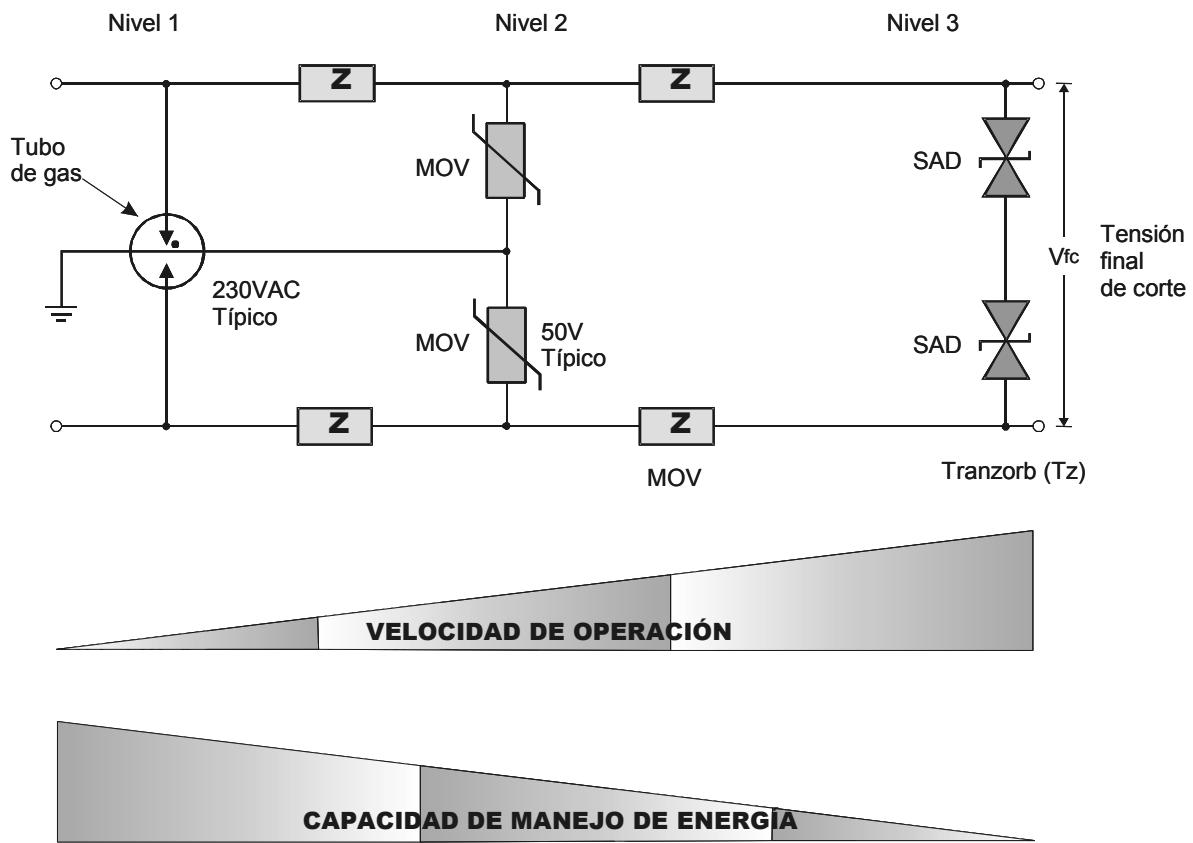


FIGURA 44.- Diagrama ilustrativo - velocidad de operación y capacidad de manejo de energía de un SPD

5 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS CON PELIGRO DE FUEGO Y/O EXPLOSIÓN

5.1 Generalidades

Este tipo de instalaciones son aquellas en las que se manejan, distribuyen, fabrican o almacenan productos inflamables, ya sean sólidos, líquidos, gases, vapores o polvos. El diseño e instalación de un SEPTE debe llevarse a cabo principalmente para ofrecer uno o varios puntos preferentes de impacto para el rayo en la protección de estructuras o elementos donde exista el peligro de fuego y explosión ante la incidencia de rayo directo, reducir la posibilidad de presentarse arcos eléctricos, por rayo directo o por efecto de inducción, que generen ignición en áreas peligrosas y reducir la posibilidad de derretimiento de material debido al paso de la **corriente de rayo**, excepto al punto de impacto.

Es importante mencionar que, al igual que para instalaciones ordinarias o comunes, la aplicación de los criterios de protección indicados en esta sección no siempre evita la posibilidad de la generación de arcos eléctricos y efectos dañinos. Sin embargo, su aplicación reduce considerablemente los efectos de daño.

Debido a los riesgos de fuego y explosión al que se exponen este tipo de instalaciones por la incidencia de rayo, la protección debe realizarse mediante la instalación de un SEPTE aislado, a menos que se indique lo contrario.

Para la protección de este tipo de instalaciones, la unión equipotencial representa un factor importante que debe satisfacerse completamente, ya que una sola conexión mal realizada u omitida puede producir arcos eléctricos, produciendo a su vez zonas de alta temperatura que pueden generar condiciones para la ignición. El único arco que no puede evitarse es el canal principal del rayo.

En esta sección, cuando se indique la instalación de un SEPTE aislado, éste debe ser diseñado con un Nivel I de protección, y sus elementos de intercepción y de conducción de la **corriente de rayo** deben estar a una distancia mínima de 2 m de cualquier elemento de la estructura a proteger o mayor si la **distancia de seguridad** así lo determina, conforme a lo indicado en 4.3.3.4. Este criterio aplica tanto para un SEPTE formado por elementos metálicos verticales, cables aéreos tendidos horizontalmente o por una combinación de ambos. Si se utilizan hojas metálicas como elemento aéreo de protección del SEPTE aislado, debe verificarse que el espesor de la lámina cumpla con lo indicado en el capítulo 6 y que exista continuidad eléctrica entre sus partes.

Los conductores de bajada utilizados en el SEPTE aislado, deben ser de un solo tramo o estar unidos por medio de soldadura exotérmica.

Para el SPT del SEPTE aislado, debe utilizarse un arreglo en trayectoria cerrada alrededor de la estructura a proteger, y aplicar los criterios indicados en 4.3.4. Asimismo, la resistencia de puesta a tierra del SPT no debe ser mayor a 10Ω .

La unión equipotencial debe realizarse entre los componentes del SEPTE aislado y las partes metálicas de la estructura a proteger a nivel de suelo, tal y como se indica en 4.3.4 y en donde la separación entre las partes metálicas sea menor que la **distancia de seguridad** estimada con un factor $k_c = 1$.

Los conductores eléctricos que entren o salgan de la instalación, deben estar dentro de una canalización metálica eléctricamente continua (preferentemente subterráneos) conforme a lo indicado en el capítulo 5 de la NOM-001-SEDE, y debe estar conectado al SPT a la entrada o salida de la instalación. Los conductores eléctricos deben protegerse contra sobretensiones por medio de supresores de sobretensión transitorios (SSTT), conforme a 4.4.3.

NOTA - Con objeto de no interferir o afectar la protección contra la corrosión, el SEPTE debe coordinarse con el responsable de la protección catódica.

5.2 Instalaciones que contienen material sólido con peligro de fuego y/o explosión

Para estas instalaciones, la protección debe llevarse a cabo mediante la implementación de un SEPTE aislado, de acuerdo a los criterios indicados en 4.3.3.3.1. Cuando la cantidad del material sólido explosivo en la instalación sea pequeña (como el utilizado en un laboratorio), o el material explosivo esté almacenado en un contenedor cerrado, completamente metálico con un espesor mínimo de 5 mm, eléctricamente continuo y conectado el SPT, el nivel de riesgo puede considerarse aceptable, por lo que puede omitirse la instalación de un SEPTE aislado, satisfaciendo en todo momento las medidas de protección del SIPTE.

5.3 Contenedores para material líquido o gaseoso con peligro de fuego y/o explosión

Estos tipos de contenedores pueden ser de almacenamiento de material inflamable o de procesos con sustancias inflamables o peligrosas. En general, puede omitirse la instalación de un SEPTE aislado (ser autoprotegido) si se cumplen todas las siguientes condiciones:

- a) El cuerpo metálico debe tener un espesor mínimo de 5 mm en cualquier sección.
- b) El techo del cuerpo metálico debe estar libre de compuertas abiertas.
- c) Exista continuidad entre las partes del cuerpo metálico y se garantice la unión entre sus partes por medios atornillados o de soldadura.
- d) En caso de tener válvulas de alivio, éstas deben operar correctamente y deben tener un dispositivo de protección contra penetración de flama al interior del contenedor.
- e) No debe tener emanaciones excesivas de vapores inflamables que puedan generar ignición ante un evento de rayo cercano o directo.
- f) No deben existir elementos susceptibles en el cuerpo del contenedor que puedan ser dañados por la circulación de la **corriente de rayo** o alcanzados por impacto de rayo, ya que esta condición pone en riesgo la integridad física del contenedor o confinamiento de la sustancia almacenada o en proceso.
- g) El cuerpo metálico del contenedor debe unirse al SPT.

En caso de que alguna de las condiciones anteriores no se cumpla, debe instalarse un SEPTE aislado para la protección contra rayo. Cuando el cuerpo del contenedor no sea metálico debe utilizarse un SEPTE aislado. Cuando se instale un SEPTE aislado como medio de protección, los mástiles utilizados en el SEPTE deben conectarse al SPT del contenedor.

Las condiciones anteriores deben aplicarse a cualquier clase de contenedor, especialmente aquellos que llevan muchos años en servicio, ya que la corrosión en el cuerpo del contenedor puede no garantizar la condición de espesor mínimo. Por otro lado, las compuertas dejadas abiertas durante una **tormenta eléctrica** han demostrado ser una de las mayores causas de siniestros ante la incidencia de rayo.

El SPT debe encerrar el perímetro del contenedor con el objeto de asegurar una rápida disipación de la **corriente de rayo** a tierra. Aplica la recomendación de 1,0 m de separación mínima entre los elementos enterrados del SPT y el contenedor, como se indica en 4.3.4 y todos los SPT instalados en el mismo predio de la instalación del contenedor deben estar interconectados.

Para la puesta a tierra, el cuerpo del contenedor debe tener dos conexiones como mínimo al SPT si el diámetro o longitud es menor o igual a 30 m y debe tener cuatro conexiones como mínimo al SPT cuando el diámetro o longitud excede los 30 m. Las conexiones deben estar igualmente espaciadas y

deben realizarse mediante soldadura exotérmica al cuerpo del contenedor y a una altura máxima de 500 mm a partir de la base metálica del contenedor.

5.3.1 Contenedores a presión atmosférica con techo fijo

5.3.1.1 Contenedor metálico con techo no metálico

Cuando el contenedor metálico posee un techo no metálico, no debe considerarse autoprotegido ante la incidencia de un rayo directo, por lo que la protección debe realizarse mediante un elemento metálico que cubra el techo del contenedor con un espesor mínimo de 5 mm y unido firmemente al cuerpo del contenedor satisfaciendo las condiciones indicadas en 5.3 o implementar un SEPTE aislado.

5.3.1.2 Contenedor no metálico

Cuando la estructura total del contenedor es de material no metálico, no tiene la capacidad de resistir el impacto de un rayo directo, por lo que debe implementarse un SEPTE aislado. Otra medida es sustituir el cuerpo del contenedor por uno metálico, satisfaciendo las condiciones de 5.3. Asimismo, cualquier elemento metálico que entre o salga de este tipo de contenedores debe tener una conexión al SPT.

5.3.1.3 Contenedor con techo metálico flotante

Cuando el contenedor metálico posee un techo metálico flotante y satisface las condiciones indicadas en 5.3, puede omitirse la instalación de un SEPTE aislado, pero debe asegurarse que los sellos ubicados en el espacio entre el techo y el cuerpo del contenedor operen correctamente, para evitar emanación de vapores peligrosos. La ignición puede originarse por la incidencia de un rayo directo o por la descarga de una carga inducida en el techo flotante por rayo cercano al contenedor. El medio más efectivo para la autoprotección de estos contenedores lo constituye la correcta operación de los sellos y la instalación de cintas metálicas de unión equipotencial, ubicadas entre el techo flotante y el cuerpo del contenedor a intervalos no mayores que 3,0 m o la utilización de conductores de unión entre la parte más alta del contenedor y la superficie externa del techo flotante.

Con el objeto de reducir riesgos de ignición en estos contenedores relacionados con la incidencia de rayos, se recomienda que no se lleve a cabo ninguna operación de llenado o vaciado al más bajo nivel durante condiciones de tormentas eléctricas, ya que la condición de techo bajo y mínimo nivel de líquido produce un espacio considerable para generar vapores inflamables dentro del contenedor.

5.3.1.4 Contenedor con techo flotante interno

Cuando el contenedor con techo metálico posee un techo flotante interno, se considera que el contenedor se encuentra protegido contra el riesgo de ignición por efecto inducido debido a rayo cercano. Aún cuando el techo flotante interno no requiere unirse equipotencialmente al cuerpo del contenedor para satisfacer la protección contra rayo, se recomienda realizar dicha unión equipotencial debido a los efectos de cargas electrostáticas acumuladas.

5.3.2 Tuberías metálicas asociadas

En general, la tubería utilizada en áreas de procesos o de almacenamiento satisface la condición de espesor, por lo que no es necesario instalar un SEPTE aislado para proteger exclusivamente la tubería.

Como se indicó en 5.3.1, la tubería y los servicios asociados a un contenedor deben conectarse al SPT, a menos que se encuentren firmemente conectados al cuerpo del contenedor por medio de soldadura. Cuando la tubería se encuentra unida al cuerpo del contenedor por medio de tornillos, debe instalarse un **conductor de unión** de cobre con sección transversal de 50 mm² como mínimo, entre la sección del

tubo ubicada antes y después del empalme. Cuando se utilicen piezas aislantes en los empalmes y esto sea un requerimiento para otros sistemas, la unión entre partes debe realizarse por medio de SPTT especiales, del tipo conocido como descargadores.

Cuando la tubería metálica sea aérea (no esté en contacto directo con la tierra) debe conectarse al SPT en el punto de llegada y de salida del contenedor o instalación y a 150 m antes de llegar y a 150 m a partir de la salida del contenedor o instalación.

La tubería metálica nunca debe utilizarse como medio para conectar el cuerpo del contenedor al SPT, pretendiendo sustituir el conductor de puesta a tierra.

Los criterios indicados en esta sección deben aplicarse a cualquier otro elemento metálico (rieles, soportes tipo charolas para cables, guías metálicas) que entre o salga de un contenedor o instalación que desarrolle procesos físico-químicos.

5.4 Instalaciones diversas con peligro de fuego y explosión

En instalaciones con procesos industriales, existe una diversidad de estructuras que deben protegerse de acuerdo con el tipo de estructura, contenido, proceso manejado y peligrosidad, como contenedores (de almacenamiento o de procesos), instalaciones de procesos, tubería asociada, edificios administrativos, áreas de trabajo, almacenes, etc.

5.4.1 Áreas de procesos

Las áreas de procesos se caracterizan por tener estructuras metálicas muy altas (por ejemplo, reactores, enfriadores, endulzadoras). Generalmente, este tipo de estructuras están construidas con elementos metálicos con un espesor mayor a 5 mm, lo que les permite aplicar el criterio de autoprotección. Sin embargo, pueden existir elementos metálicos sobre o alrededor de estas estructuras que no cumplan con el requisito de espesor, por lo que deben instalarse **terminales aéreas** de intercepción que utilicen el mismo cuerpo de la estructura como **conductor de bajada** para evitar la incidencia directa de rayo sobre los elementos metálicos más sensibles. Es importante verificar, con el propietario de la instalación, que los procesos desarrollados dentro de este tipo de estructuras no representen un riesgo de producir ignición al paso de la **corriente de rayo** a lo largo del cuerpo de la estructura que comprometa la integridad física de la estructura, el proceso y su entorno. En caso de que represente un peligro debe instalarse un SEPTE aislado.

Todas las estructuras metálicas ubicadas en las áreas de procesos deben conectarse al SPT por lo menos en un punto de conexión por elemento, conforme a lo indicado en la NOM-001-SEDE.

Todos los edificios que se encuentren dentro del perímetro del área de procesos (almacenes, centros de capacitación, cuartos de control) y hasta una distancia de 50 m, deben protegerse mediante un SEPTE con Nivel I de protección, e instalar un SIPTE.

5.4.2 Bardas perimetrales

Para el caso de bardas perimetrales construidas de elementos metálicos expuestos, deben conectarse al SPT general con el propósito de suministrar una conexión metálica continua entre sus elementos metálicos y el SPT del SPTE y evitar diferencias de potencial peligrosos para el personal. La puesta a tierra debe realizarse a intervalos regulares, no mayores a 20 m.

5.4.3 Elementos de gran altura

Todos aquellos elementos metálicos de gran altura ajenos a las instalaciones con riesgo de fuego y explosión, tales como mástiles de bandera, torres de comunicaciones y de radio, no deben estar dentro de un radio de 50 m de las estructuras de alto riesgo de fuego y explosión. Esto también aplica para la plantación de árboles de gran altura.

5.4.4 Edificios administrativos

Los edificios administrativos deben protegerse con los criterios indicados para instalaciones ordinarias o comunes, aplicando el concepto de protección integral, es decir, la instalación de un SEPTE (previo análisis de evaluación de riesgo) y un SIPTE, especialmente para todos aquellos edificios con equipo electrónico sensible.

5.4.5 Estaciones de llenado

En estaciones de llenado para contenedores móviles, camiones, embarcaciones, etc., las tuberías deben conectarse a tierra de acuerdo a lo indicado en 5.3.2. Asimismo, el acero estructural de la estación de llenado o el acero del concreto armado deben también conectarse al SPT de acuerdo a lo indicado en 4.3.4, el cual debe estar instalado alrededor de la estación, formando una trayectoria cerrada e interconectado con todos los SPT instalados en el predio de la instalación completa.

La estructura que alberga la estación de llenado debe protegerse con un SEPTE, aislado o no aislado siguiendo los procedimientos indicados en 4.3, dependiendo del tipo de material de la estructura y de la ubicación física de las bombas. La protección debe ser con nivel I.

6 MATERIALES

6.1 Generalidades

Los materiales utilizados en el SPTE deben tener una alta conductividad y durabilidad, como los mencionados en las tablas (11, 12, 13 y 14) deben ser resistentes a la corrosión provocada por las condiciones ambientales, la composición del suelo o agua y/o contaminantes y el contacto con metales o aleaciones que genere corrosión por efecto galvánico.

6.2 Selección de materiales

6.2.1 Terminales aéreas

TABLA 11.- Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas

Material	Sección transversal mm ²	Características específicas
Cobre	35	Véase tabla 1 de la NMX-J-215-ANCE
Aluminio	70	Véase la tabla 1 de la NMX-J-058-ANCE
Acero inoxidable	50	Acero inoxidable tipo aleación 304 ⁽¹⁾

NOTA- Para el acero inoxidable tipo aleación 304.

6.2.2 Conductores de bajada

Los conductores de bajada en cualquier configuración deben ser desnudos (sin aislamiento), a excepción de que sean conductores con aislamiento diseñados para el confinamiento de campo eléctrico producido por la corriente de la descarga atmosférica. En cualquier caso debe respetarse la distancia de seguridad s.

TABLA 12.- Espesor mínimo de las hojas y tubos metálicos para terminales aéreas naturales

Material	espesor mm	Características específicas
Acero	4	Véase la tabla 1 de la NMX-J-534-ANCE-2001
Cobre	5	Véase tabla 1 de la NMX-J-215-ANCE
Aluminio	7	Cualquier aleación

6.2.3 Electrodo de puesta a tierra

TABLA 13.- Material y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de puesta a tierra

Material	Configuración y dimensiones nominales mínimas		Características específicas
Cobre	Cilíndrico sólido	53,5 mm ²	Véase tabla 1 de la NMX-J-215-ANCE
	Cintilla	Ancho x espesor 25 mm x 1,5 mm	
	Tubo	Diámetro interior 13 mm Espesor de pared mínimo 1,8 mm	
	Placa plana	500 mm x 500 mm Espesor mínimo 1,52 mm	
	Lamina (arreglos)	0,25 m ² Espesor mínimo 0,711 mm	
	Cable trenzado	53,5 mm ²	
Acero	Tubo galvanizado	Diámetro interior de 19 mm Espesor de pared mínimo 2,71 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm	Véase la tabla 1 de la NMX-J-534-ANCE-2001
	Placa plana galvanizada	500 mm x 500 mm Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm Espesor mínimo de la placa 6,4 mm	-----
	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo Espesor mínimo del recubrimiento 0,254 mm	NMX-B-301
	Varilla galvanizada	Diámetro de 13 mm mínimo y 25 mm máximo Espesor mínimo de recubrimiento 0,086 mm	NMX-B-301
Acero Inoxidable	Cintilla o solera	Ancho x espesor 25 mm x 1,5 mm	Acero inoxidable tipo aleación 304 ⁽¹⁾
	Varilla	Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo	
	Placa plana	500 mm x 500 mm Espesor mínimo de la placa 6,4 mm	
	Lamina (arreglos)	0,25 m ² Espesor mínimo 1,245 mm de la lámina	

(1) Para el acero inoxidable tipo aleación 304.

6.2.4 Barra de unión para el sistema de protección contra tormentas eléctricas

TABLA 14.- Dimensiones mínimas para las barras de unión

Material	Configuración, ancho y espesor	Características específicas
Acero	Placa 250 mm x 250 mm x 6,35 mm	Acero al carbón
Cobre	Placa sólida Ancho x espesor 200 mm x 6,35 mm	Cobre electrolítico a 99,9%

6.2.5 Elementos de fijación del SPTE

Los elementos de fijación deben ser compatibles con los elementos del SPTE, así como cumplir con los requisitos de resistencia a la corrosión indicados en la tabla 15.

Estos elementos deben asegurar la rigidez mecánica de las partes del SPTE y deben ser de:

- Acero y sus aleaciones; o
- Cobre y sus aleaciones; o
- Aluminio y sus aleaciones; o
- Sintéticos

Los elementos sintéticos deben ser resistentes a los rayos ultravioleta (UV).

6.2.6 Elementos de unión equipotencial

Las conexiones y uniones deben ser eléctricamente continuas y firmes.

Entre los elementos de unión, se encuentran los conectadores que pueden ser:

- A compresión;
- Atornillados;
- Soldables.

No deben utilizarse conectadores a compresión y atornillados cuando se apliquen en elementos enterrados.

6.2.7 Protección contra la corrosión

La corrosión es la desintegración gradual de los materiales metálicos debido a la interacción con el medio que los rodea.

La velocidad de corrosión de los metales varía según el tipo de material utilizado y de la naturaleza del ambiente. Factores como la concentración del electrolito, existencia de oxígeno y temperatura, afectan la velocidad de corrosión.

Cuando exista un ambiente corrosivo en la zona o exista evidencia de corrosión en las estructuras a proteger, y con el objeto de reducir los efectos de corrosión sobre los elementos metálicos deben tomarse en cuenta los lineamientos de la Tabla 15.

TABLA 15.- Guía sobre resistencia a la corrosión de algunos metales y aleaciones comunes

Clase de material	Corrosión Seca		Corrosión electroquímica a temperatura por debajo de 50 °C									
			Ácidos de moderada concentración					Álcalis de moderada concentración	Atmósfera		Agua	
	Temperatura máxima compatible con buen servicio °C		HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₃ PO ₄	Ácido acético		Orilla del mar	Industrial	Doméstica	Mar
	Gases oxid.	Gases reduc.										
Acero bajo en C	540	540	P	P	P	P	P	B	P	P	R	R
Acero galvanizado			P	P	P	P	P	R	B	B	P	P
Fundición gris			P	P	P	P	P	RB	R	RB	B	R
Fundición 14% Si			RB	E	E	B	B	RB	E	E	E	E
Fundición 2,6% Ni			R	R	P	R	RB	E	B	B	B	B
Acero 3% Ni			P	P	P	P	P	BE	RB	RB	R	R
Acero 12% Cr	730	730	P	P	B	R	B	B	B	B	B	PR
Acero 17% Cr	840	840	P	P	E	P	E	B	B	B	B	PB
Aceros al Cr-Ni												
18-8	900	900	P	R	B	B	B	E	E	B	E	RB
18-8,4 % Mo			P	R	B	B	B	B	E	E	E	B
25-20	1,150	1,090	P	R	E	B	B	E	E	B	E	B
Stellite	1,150	1,150	R	R	RB	E	E	E	E	E	E	E
Hastelloy A	760	980	B	B	P	E	E	E	B	B	B	B
Níquel	1,040	1,260	RB	RB	P	RB	RB	E	E	B	E	RE
Metal Monel	540	1,090	RB	B	P	B	RB	E	E	B	E	BE
Nichrome	1,130	1,040	R	R	R	B	B	B	E	B	E	RE
Iconel, 14% Cr	1,090	1,150	R	R	R	B	B	E	E	B	E	RE
80% Ni-20% Cr	1,090	1,150	RB	RB	B	B	B	E	E	B	E	RE
Cobre			PB	RB	P	RB	RB	B	B	B	B	B
Latón rojo			RB	RB	P	RB	RB	B	B	B	RB	B
Bronce fosforoso			P	RB	P	RB	RB	B	B	RB	B	B
Bronce de aluminio			R	RB	P	RB	RB	RB	B	B	B	B
Alpaca			R	B	P	RB	RB	E	B	B	B	BE
Metal de almirantazgo			P	RB	P	RB	RB	RB	B	B	B	RB
Aluminio	425	425	P	R	P	P	B	P	BE	BE	RE	RB
Magnesio		205	P	P	P	R	P	E	B	B	R	P
Cinc			P	P	P	P	P	P	RP	RP	B	B
Estaño			P	P	P	P	P	R	B	B	R	B
Plomo			R	E	P	E	P	RB	B	B	PB	B
Titánio			RB	PB	E	BE	E	E	E	E	E	E

NOTAS -

1.- E – Excelente B – Bueno R – Moderado P – Pobre

2.- Las uniones cobre / aluminio, deben realizarse mediante una conexión bi-metálica.

3.- La variedad de mecanismos de corrosión y de circunstancias experimentales pueden motivar que en determinados casos se obtengan comportamientos inferiores a los indicados.

7**VERIFICACIÓN, ACTIVIDADES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS****7.1 Generalidades**

Los elementos que integran un SPTE, sea aplicado a un SEPTÉ o a un SIPTE, están expuestos a corrosión, daño mecánico, daño por condiciones ambientales y daño ante la circulación de corrientes excesivas. Estas condiciones adversas generan que el SPTE pierda su efectividad con el paso de los años.

Por lo tanto, una vez que se ha instalado un SPTE, debe seguirse y aplicarse un programa de verificación y como resultado llevar a cabo las actividades preventivas y correctivas correspondientes, las cuales deben estar coordinadas.

El programa de verificación y las actividades preventivas y correctivas tienen el objetivo de asegurar las condiciones originales de operación del SPTE, tomando en cuenta los parámetros eléctricos y mecánicos.

7.2 Programa de verificación

La verificación debe seguir un programa con el cual se obtenga una compilación de datos que permita establecer el estado que guardan los elementos del SPTE. La verificación debe auxiliarse de la siguiente información:

- a) Planos del SPTE aprobados y actualizados por el usuario para verificar altura, posición, trayectorias y puntos de conexión de los elementos del SPTE,
- b) Especificación de materiales y tipo de conexiones, con el fin de verificar las condiciones del material de los elementos y las condiciones de fijación de las conexiones (soldables, atornillables, a compresión, entre otros)

Antes de realizar la verificación correspondiente, debe consultarse la información o informes de inspecciones previas, con el fin de identificar puntos críticos del sistema y tener elementos de comparación confiables.

7.2.2 Etapas de verificación

El SPTE debe verificarse en los siguientes casos:

- a) Durante la instalación del SPTE, especialmente en el proceso de la instalación de los componentes en áreas de difícil acceso para su verificación.
- b) Una vez instalado el SPTE, durante su programa periódico de verificación.
- c) Inmediatamente después de haber ocurrido la incidencia directa de un rayo sobre la instalación o los elementos del SPTE.

7.2.3 Factores de la verificación

El intervalo entre inspecciones generalmente debe determinarse por los factores siguientes:

- a) Clasificación de la estructura, especialmente para aquellas instalaciones donde los daños pueden ser fatales o desastrosos.
- b) **Nivel de protección** del que dispone la instalación.
- c) Condiciones ambientales, por ejemplo, corrosivas.
- d) Materiales utilizados en el SPTE.
- e) Condiciones del suelo.

La verificación periódica debe realizarse al término de la temporada de estiaje con el fin de evaluar los elementos del SPTE en las condiciones más críticas, especialmente el SPT. La verificación, adicional a la programada debe realizarse siempre que se lleve a cabo una actividad de modificación, reparación, alteración, adición o retiro de elementos, unidades, equipo, etc., dentro de la instalación, ya que la experiencia ha demostrado que generalmente los elementos del SPTE experimentan daños severos durante dichas actividades.

La verificación programada debe realizarse cada doce meses, o antes si las condiciones ambientales son corrosivas, el suelo es altamente corrosivo, se realizan actividades que puedan afectar la integridad

física de los elementos del SPT o cuando los daños en las instalaciones puedan ser fatales o desastrosos.

7.2.4 Verificación visual

La verificación la cual se realiza generalmente en forma visual, debe asegurar que:

- a) Los elementos del SPTE se encuentren en buenas condiciones.
- b) No existan conexiones flojas, ni elementos rotos en su longitud y unión con otros elementos metálicos.
- c) Ninguna parte del SPTE presente desgaste por corrosión, especialmente a nivel de tierra o suelo.
- d) Todas las conexiones del SPTE se encuentren en buen estado, incluyendo las conexiones entre las **terminales aéreas** y los conductores de bajada.
- e) Todos los elementos del SPTE conservan su rigidez mecánica y se encuentran debidamente adheridos a la superficie en la que se han instalado, verificando la protección contra accidentes mecánicos o desplazamientos.
- f) No se hayan llevado a cabo adiciones o alteraciones en la instalación que pudieran requerir una conexión o protección adicional. Esto incluye: 1) cambios en el uso de la instalación, por ejemplo, almacenamiento de combustible originalmente no previsto, 2) elementos adicionales que se encuentren fuera del área de protección de las **terminales aéreas** originalmente diseñadas, 3) instalación de equipo adicional que requieran puntos de conexión con el SPT.
- g) Todas las uniones al plano equipotencial de la instalación generadas por la instalación de nuevos sistemas se hayan realizado conforme a esta norma.
- h) Se respeten las distancias de seguridad entre los elementos que pueden llevar corriente eléctrica transitoria en caso de una falla o incidencia de rayo y elementos metálicos diversos.
- i) Todas las conexiones a nivel del registro de puesta a tierra se encuentren en buen estado y conforme al diseño original, así como las conexiones de todos los conductores de puesta a tierra.
- j) Las uniones entre elementos del SPTE aseguren una continuidad eléctrica dentro del sistema, especialmente en los conductores de bajada, elementos asociados con el SPT y la resistencia de puesta a tierra del SPT.
- k) Los dispositivos de protección SSTT estén conectados firmemente a tierra para asegurar su correcta operación.
- l) Los dispositivos de protección SSTT no presenten evidencia física de daño o su eficiencia se haya reducido notablemente.
- m) Se hayan tomado las medidas necesarias para instalar o reubicar dispositivos SSTT en caso de nuevos circuitos eléctricos diseñados para alimentar equipo electrónico sensible.
- n) Una vez terminada la verificación, debe elaborarse un informe donde se indiquen las actividades preventivas y correctivas.

7.3 Actividades preventivas y correctivas

Las actividades preventivas y correctivas deben llevarse a cabo y deben satisfacer las necesidades indicadas en la verificación. Adicionalmente, las actividades preventivas y correctivas deben satisfacer, pero no deben limitarse a, los siguientes aspectos:

- a) En caso de pérdida de un elemento metálico del SPTE o pérdida de continuidad por vandalismo, retiro involuntario, corrosión o daño mecánico, proceder a la reparación o reposición correspondiente.

- b) En caso de no cumplir con la condición de firmeza o adherencia de los elementos del SPTE a la superficie de fijación, proceder a sustituir o instalar adecuadamente los elementos de fijación correspondientes.
- c) En caso de existir equipo o elementos nuevos que se encuentren fuera de la cobertura de protección contra la incidencia directa de rayo indicada en el diseño original, realizar la evaluación correspondiente con el fin de instalar las **terminales aéreas** adicionales para asegurar su protección. Aplicar los mismos criterios de protección indicados en el diseño original, a menos que exista un cambio en el uso de la instalación.
- d) En caso de existir nuevos equipos electrónicos sensibles, realizar la evaluación correspondiente con el fin de instalar los dispositivos SSTT para asegurar su protección contra sobre tensiones transitorias.
- e) La medición de la resistencia de puesta a tierra debe realizarse en la misma época del año (justo antes de la temporada de lluvias), con el fin de tener el mismo patrón de comparación y el valor crítico. En caso de obtener un valor de la resistencia de puesta a tierra mayor a $10\ \Omega$ conforme a esta norma, salvo en los casos previstos en 4.3.4.7, se recomienda verificar con mucho cuidado los elementos de la red de puesta a tierra, siguiendo las acciones recomendadas en los incisos anteriores. En caso de que el aumento en la resistencia de puesta a tierra persista a pesar de las acciones preventivas y correctivas, se recomienda mejorarla con elementos adicionales, mediante un soporte técnico.

Los resultados de las acciones anteriores deben registrarse en un formato, el cual incluya: 1) los resultados de la verificación, 2) los resultados de la medición, y 3) las acciones preventivas y correctivas que procedan para asegurar la operación del SPTE. Estos formatos deben guardarse junto con la información del SPTE de la instalación, con el fin de llevar el historial del sistema a través de los años y de su actualización, en caso de llevar acciones preventivas y/o correctivas, así como estar disponibles para la consulta de la autoridad responsable de coordinar y verificar las acciones preventivas y correctivas.

El grado de deterioro del SPTE puede estimarse mediante los resultados directamente obtenidos en la verificación correspondiente o mediante la comparación de los resultados obtenidos con los indicados en el historial de verificación de la instalación

APÉNDICE A (Normativo)

MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE

Basado en la física del rayo, el **punto de incidencia** del rayo sobre la tierra o sobre alguna estructura es aquel que haya lanzado el líder ascendente que finalmente haga conexión con el **líder escalonado descendente**.

La principal hipótesis de este método de protección es que la cantidad de carga espacial contenida en el **líder escalonado descendente**, la cual precede a la descarga eléctrica, está íntimamente relacionada con la amplitud de la corriente del rayo, por lo que el último paso de la descarga depende del valor pico de la corriente del rayo.

Debido a que el **líder escalonado descendente** puede aproximarse desde cualquier dirección hacia el objeto a ser golpeado, el ángulo de aproximación puede simularse por medio de una esfera imaginaria alrededor y sobre el objeto a ser golpeado, figura A.1. Si la esfera toca el volumen a protegerse, entonces dicho volumen necesita protección. En caso contrario, el volumen estará protegido. El radio de la esfera rodante debe ser equivalente a la longitud del último paso de la descarga para un valor pico de corriente del rayo.

Utilizando la relación entre el último paso de la descarga y el valor pico de la **corriente de rayo**, se ha encontrado una expresión analítica con la cual es posible evaluar la longitud del último paso de la descarga:

$$r_s = k_s \cdot I^c \quad (A-1)$$

En donde:

r_s es la distancia o longitud en metros (m) del último paso de la descarga,
 k_s y c son factores obtenidos a través de estudios de campo del gradiente de potencial de grandes arcos eléctricos generados en laboratorio,
 I es el valor pico de la corriente del rayo de kiloamperes (kA).

Existen diferentes valores para las constantes k_s y c reportados en la literatura especializada, pero el resultado es aproximadamente el mismo. Por lo tanto, utilizando una expresión como la indicada en la ecuación (A-2), es posible determinar la distancia del último paso de la descarga en función del valor pico de la corriente del rayo.

$$r_s = 9,4 \cdot I^{2/3} \quad \text{para } I < 30 \text{ kA} \quad (A-2)$$

La expresión (A-2) limitada a corrientes menores de 30 kA se aplica en esta norma debido a que el mínimo **nivel de protección** está limitado a un radio de la esfera rodante de 60 m, el cual corresponde a una corriente aproximada de rayo de 16 kA.

La ecuación (A-2) indica que la longitud del último paso de la descarga involucrado en el proceso de conexión entre el **líder escalonado descendente** y el líder ascendente será mayor a mayores valores pico de la **corriente de rayo**. Por lo tanto, la **corriente de rayo** representa el parámetro más importante en la definición de la protección contra tormentas eléctricas.

Si el **líder escalonado descendente** se aproxima a la terminal aérea *A* por la derecha, ya sea la terminal aérea *A* o la tierra puede ser golpeada por el rayo si la longitud del último paso de la descarga r_s es equidistante a ambos puntos a partir del punto P_1 , como se observa en la figura A1. Si el punto P_1 está más cerca de la terminal aérea *A*, entonces el rayo golpeará dicha terminal. Por lo que cualquier estructura que se encuentre a la derecha de la terminal aérea *A*, a una distancia mayor que r_s o a una altura sobre el segmento de arco proyectado por el radio r_s a partir del punto P_1 será golpeado por el rayo.

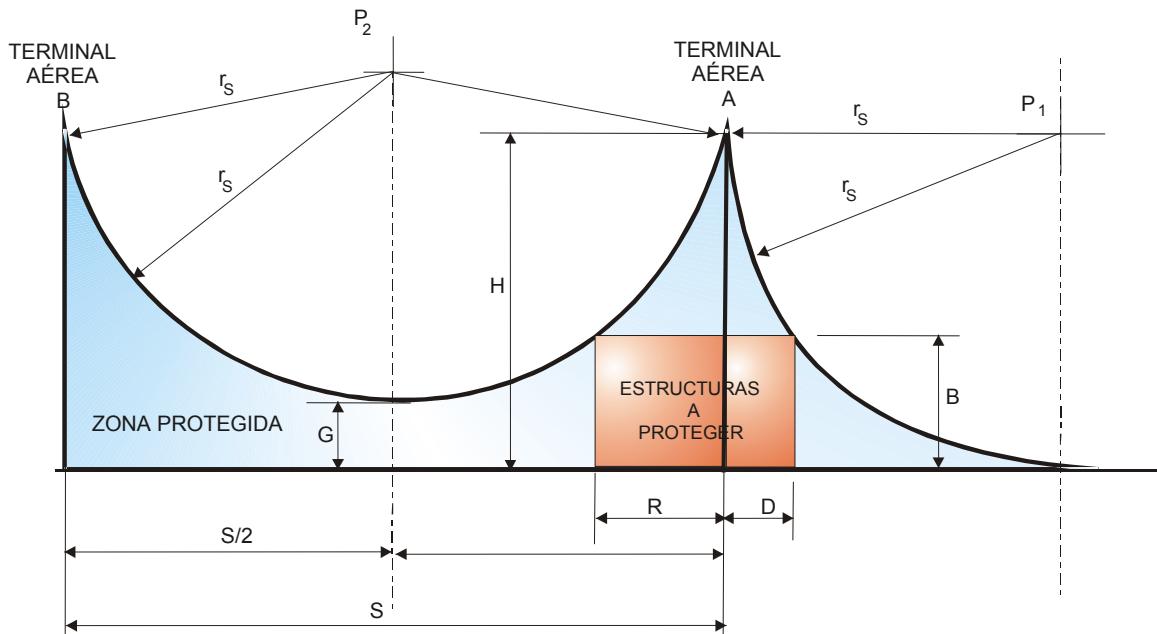


FIGURA A.1.- Zona de protección del método de la esfera rodante

Considérese ahora el caso cuando el **líder escalonado descendente** se aproxima a la estructura entre las **terminales aéreas** *A* y *B*. Cuando el **líder escalonado descendente** se approxima al punto P_2 , la zona protegida está definida por el arco de círculo de radio r_s , pasando a través de las puntas de las **terminales aéreas** *A* y *B*.

Si una estructura está localizada entre las dos **terminales aéreas**, la altura G (ecuación A-5) debe ser mayor que la altura de la estructura para ofrecer una protección adecuada. Un valor negativo de la altura G indicaría una zona no protegida entre las dos **terminales aéreas**. Las ecuaciones con las cuales puede realizarse la evaluación de la protección son las siguientes:

Cuando $H < r_s$

$$D = H \sqrt{\frac{2r_s}{H}} - 1 - B \sqrt{\frac{2r_s}{B}} - 1 \quad (A-3)$$

$$R = (H - G) \sqrt{\frac{2r_s}{(H - G)}} - 1 - (B - G) \sqrt{\frac{2r_s}{(B - G)}} - 1 \quad (A-4)$$

Cuando $S < 2 r_s$

$$G = H - r_s + \sqrt{r_s^2 - \frac{S^2}{2}} \quad (A-5)$$

Cuando $H > r_s$

$$D = r_s - B \sqrt{\frac{2r_s}{B} - 1} \quad (A-6)$$

La altura de la terminal aérea puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$H = r_s + \sqrt{1 + \frac{D}{r_s} + \sqrt{\frac{B}{r_s} - 2 - \frac{B}{r_s}}}^2 \quad (A-7)$$

En donde:

- B es la altura del elemento a proteger.
- H es la altura de la terminal aérea de protección.
- D es la distancia horizontal máxima de protección bajo el arco proyectado por el radio r_s debido a una terminal aérea.
- R es la distancia horizontal máxima de protección proyectado por el radio r_s entre dos **terminales aéreas** de protección.
- S representa la distancia de separación entre las **terminales aéreas**.
- r_s representa la distancia del último paso de la descarga o el radio de la esfera rodante.
- G es la altura mínima a la cual una estructura se encuentra protegida.
- P_1 y P_2 son los últimos puntos en los cuales el **líder escalonado descendente** viaja hacia la tierra o hacia la estructura y se produce el punto de conexión entre el líder descendente y el líder ascendente.

Por su característica volumétrica, el método de la esfera rodante puede aplicarse sin restricciones sobre cualquier estructura o sobre **terminales aéreas** utilizadas en la protección contra tormentas eléctricas.

El diseñador debe verificar la correcta aplicación del método al "rodar" la esfera imaginaria correspondiente al **nivel de protección** deseado sobre tierra, alrededor y por encima de la instalación a protegerse o cualquier otro objeto en contacto con la tierra capaz de actuar como un punto conductor de la **corriente de rayo**, teniendo especial cuidado de que la esfera imaginaria no toque los elementos a protegerse, como se indica en la sección 4.3.1 y la figura A.2.

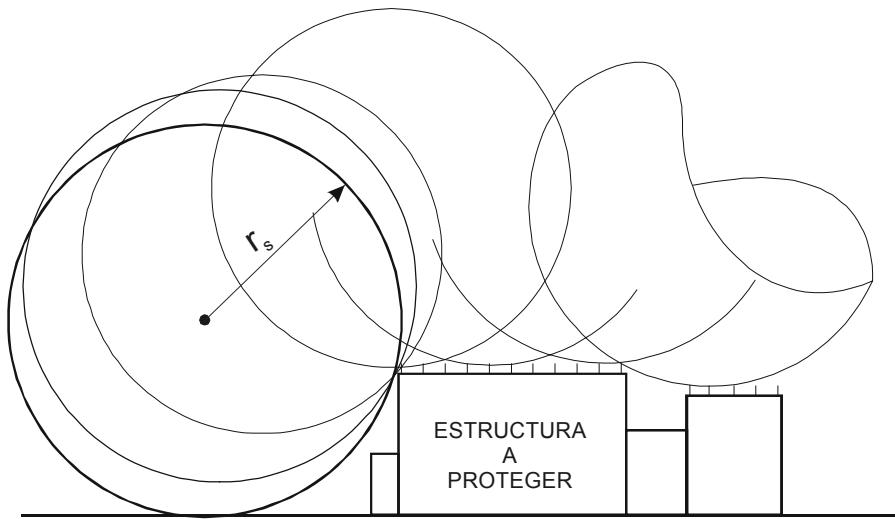


FIGURA A.2.- Rodamiento de la esfera rodante imaginaria para definir la posición de las terminales aéreas de intercepción. La posición y altura de las terminales aéreas en el dibujo es indicativo, con el objeto de ilustrar que la esfera rodante no toque la estructura a proteger

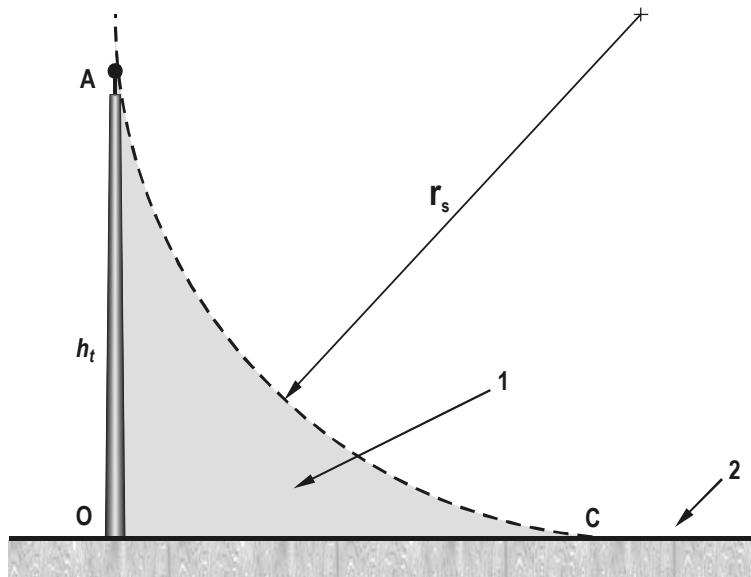
El radio de la esfera rodante se indica en la tabla 3 de la sección 4.3.1, de acuerdo a los niveles de protección, en la cual se muestra la **corriente de rayo** aproximada que corresponde al radio de la esfera rodante, estimada con la ecuación (A-2).

Los valores indicados en la tabla 3 muestran que, si se considera un valor de diseño de 20 m (nivel I) para el radio de la esfera rodante, la instalación estará protegida para corrientes de rayo mayores o iguales a 3 kA; las corrientes de rayo menores tienen una elevada probabilidad de penetrar el sistema de protección. Si se considera un valor de diseño de 30 m (nivel II) para el radio de la esfera rodante, la instalación estará protegida para corrientes mayores o iguales a 6 kA; las corrientes de rayo menores tienen una elevada probabilidad de penetrar el sistema de protección. Y así sucesivamente para los demás valores de diseño para el radio de la esfera rodante (niveles III y IV). De acuerdo a la clasificación de los niveles, cuanto menor sea el nivel, mayor será la protección, ya que considera corrientes menores en la efectividad del blindaje que ofrecen las **terminales aéreas**.

La probabilidad de incidencia de rayos puede establecerse en forma condensada en la tabla 3 de la sección 4.3.1, la cual indica que las corrientes de rayo mayores a 3 kA representan el 98 % de los rayos medidos en un cierto tiempo (ocurrencia). Las corrientes mayores a 8 kA representan el 90 % de ocurrencia. Las corrientes mayores a 28 kA representan el 50 % de ocurrencia. Las corrientes mayores a 80 kA representan el 10 % de ocurrencia. Y finalmente, las corrientes más elevadas, en este caso mayores a 200 kA, representan sólo el 1 % de ocurrencia. Como puede observarse, existe una elevada probabilidad de incidencia de rayos con bajo valor de corriente y una probabilidad mucho menor para corrientes más elevadas.

Al aumentar el radio de la esfera rodante, disminuye el número de **terminales aéreas** necesarias para la protección, pero aumenta la probabilidad de que el rayo penetre el sistema de protección. Un aspecto importante en la evaluación de la protección con el método de la esfera rodante, es que la altura máxima efectiva del elemento de protección a partir del plano a proteger será igual al radio utilizado para la esfera rodante. Las figuras A.3 y A.4 muestran el concepto de la altura máxima efectiva de una terminal aérea vertical, de acuerdo al radio de la esfera rodante seleccionado.

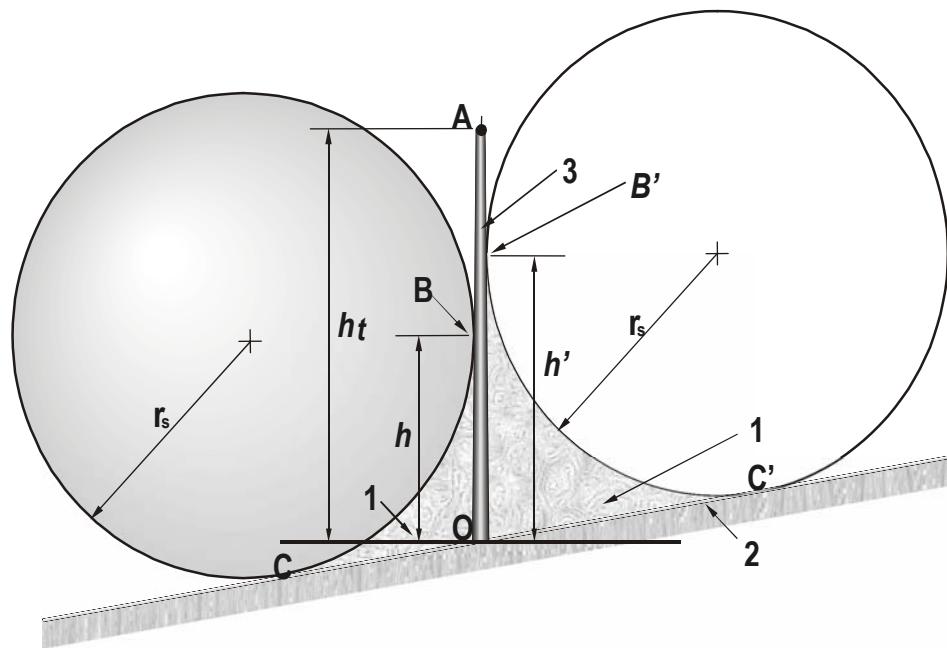
Cuando la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante, la protección máxima estará limitada a la zona de protección definida por el punto de unión entre la esfera rodante y la altura de la terminal aérea correspondiente al radio de la esfera rodante (véase puntos B y B' de la figura A.4).



- 1 espacio a proteger
- 2 plano de referencia
- r_s radio de la esfera rodante de acuerdo a la tabla 3 de la sección 4.3.1
- OC radio del área a proteger
- A punto más alto de la terminal aérea
- h_t altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia

Observe que el punto C corresponde al punto de contacto entre el plano de referencia y el arco de círculo de la esfera rodante en forma tangencial.

FIGURA A.3.- Espacio de protección de una terminal aérea ya sea horizontal o vertical obtenido mediante el método de la esfera rodante, para el caso en que la altura de la terminal aérea es menor o igual que el radio de la esfera rodante



1	espacio a proteger
2	plano de referencia
3	terminal aérea
r_s	radio de la esfera rodante de acuerdo a la tabla 3 de 4.3.1
A	punto más alto de la terminal aérea
h	altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia
(h, h')	alturas de las terminales aéreas de acuerdo con la tabla 3 de 4.3.1
(B, C, B', C')	puntos de contacto entre el plano de referencia y la terminal aérea y el arco de círculo de la esfera rodante

FIGURA A.4.- Espacio de protección de una terminal aérea ya sea horizontal o vertical al punto obtenido mediante el método de la esfera rodante, para el caso en que la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante

APÉNDICE B
(normativo)

MÉDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

B1 GENERALIDADES

La resistividad del suelo es importante para los sistemas de puesta a tierra, ya que tiene un efecto directo en la determinación de la resistencia de conexión a tierra y en los gradientes de potencial del suelo en la vecindad de las instalaciones al momento de circular la **corriente de rayo**. Para propósito de diseño, es necesario aplicar un método de medición y adoptar un modelo práctico de interpretación que permita evaluar la resistividad del suelo, la cual varía tanto en el sentido lateral como con la profundidad, por lo que los valores que se miden en campo se conocen como "resistividad aparente", y son característicos de cada sitio en particular.

B1.1 Resistividad Aparente del Suelo

Debido a la complejidad en su composición, el suelo no puede definirse a través de clasificaciones genéricas por lo que la resistividad del suelo debe determinarse mediante mediciones realizadas en campo.

La resistividad del suelo depende de varios parámetros como son:

- 1) Contenido de agua (importante en las variaciones cíclicas entre estaciones del año);
- 2) El contenido de sales;
- 3) La temperatura;
- 4) El grado de compactación;
- 5) La heterogeneidad.

B2 MATERIAL Y EQUIPO

- 1) Equipo calibrado de medición de resistencia de tierra con las características siguientes:
 - Intervalo de frecuencia de 100 Hz a 200 Hz o mayor
 - Posibilidad de proveer alta y baja corriente con valores de 9 mA a 250 mA.
- 2) Accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición.
- 3) En caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre tipo SCE o SCT con una desiganción de uso más común de 2,08 mm² (14 AWG) o 1,307 mm² (16 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 cm y un diámetro mínimo de 13 mm de alguno de los siguientes materiales:
 - Acero inoxidable
 - Acero con recubrimiento de cobre
 - Acero galvanizado

B3**PRINCIPIO DE MEDICIÓN**

Esta norma recomienda el método de los cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial) o método de Wenner, el cual ha demostrado ser simple y efectivo, ya que no necesita de electrodos auxiliares profundos.

El procedimiento de medición utiliza cuatro electrodos de prueba auxiliares enterrados en línea recta y a una distancia uniforme entre ellos. Véase figura B.1. Una fuente de corriente, conectada entre los electrodos auxiliares externos, suministra una corriente a tierra. El flujo de esta corriente en la tierra produce una variación del potencial en el suelo, generando una diferencia de potencial entre los electrodos auxiliares internos. La relación entre la diferencia de potencial (V) y la corriente de prueba (I) corresponde a la resistencia del suelo, la cual es utilizada para determinar la resistividad aparente. Cabe aclarar que existen equipos de medición que proporcionan la medición de la resistividad aparente de manera directa.

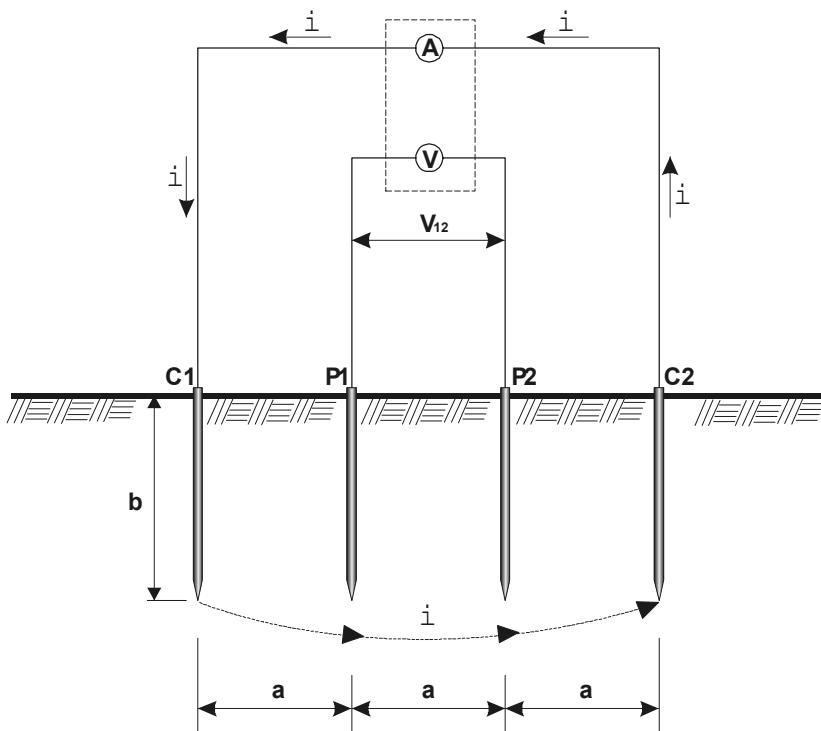


FIGURA B.1.- Método de los cuatro electrodos o método de wenner

B4**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

- Seleccionar un eje de referencia sobre el suelo para efectuar las mediciones
- Colocar en línea recta los cuatro electrodos auxiliares como se indica en la figura B.1.
- Suministrar una corriente de prueba a tierra a través de los dos electrodos externos, de acuerdo con lo indicado por el fabricante del equipo de medición.
- Registrar el valor de resistencia R obtenido en el equipo de medición.
- Repetir los puntos (b), (c) y (d) para diferentes distancias a entre los electrodos auxiliares.

Para este método de medición, la resistividad aparente del suelo está determinada por la siguiente expresión matemática:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4\pi aR}{n} \quad (\text{B-1})$$

En donde:

- a es la distancia entre electrodos auxiliares, en m.
- b es la profundidad de los electrodos auxiliares, en m.
- R es la resistencia resultante del cociente V/I, en Ω .
- ρ es la resistividad aparente del suelo, en Ωm .
- n es el factor resultante de aplicar los valores en el denominador.
- V es la diferencia de potencial entre electrodos auxiliares internos, en V.
- I es la corriente de prueba entre electrodos auxiliares externos, en A.

El valor máximo recomendado para la profundidad de los electrodos de prueba auxiliares es del 10% de la distancia a . Para condiciones prácticas en las que se mantiene la desigualdad $b < a/20$ (la distancia entre electrodos auxiliares es mucho mayor que la profundidad de enterramiento), la ecuación (1) puede simplificarse a:

$$\rho = 2\pi aR \quad (\text{B-2})$$

Algunos equipos de medición proporcionan directamente el valor de la resistividad aparente, por lo que no es necesario aplicar las ecuaciones anteriores B-1 y B-2.

Las distancias entre electrodos pueden ser arbitrarias, pero iguales entre electrodos. Se recomienda que al inicio de las mediciones la distancia mínima de separación entre éstos sea de 1 m con un mínimo de 6 mediciones, graficando los valores obtenidos.

Debido a que en las mediciones de resistividad se involucra el volumen del suelo, es necesario que se realice el mayor número de direcciones de medición posibles en el lugar de medición, con el fin de obtener un perfil representativo del suelo.

La figura B2 muestra un ejemplo de medición de resistividad del suelo en un área determinada mediante direcciones ortogonales o diagonales.

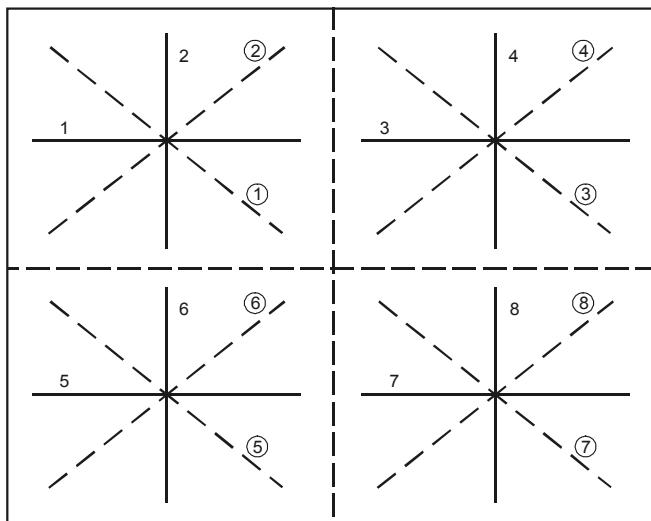


FIGURA B.2.- Ejemplo de trayectoria de direcciones recomendadas para la medición de resistividad del suelo

Los resultados de las mediciones se registran en una tabla B.1 como se indica a continuación.

TABLA B.1.- Registro típico de mediciones de resistividad

Número de medición	Distancia de separación m	Dirección 1 Ωm	Dirección 2 Ωm	Dirección 3 Ωm	Dirección n Ωm	Promedio Ωm
1	1	ρ11	ρ21	ρ31	ρn1	ρ1
2	2	ρ12	ρ22	ρ32	ρn2	ρ2
3	3	ρ13	ρ23	ρ33	ρn3	ρ3
4	4	ρ14	ρ24	ρ34	ρn4	ρ4
5	6	ρ15	ρ25	ρ35	ρn5	ρ5
6	8	ρ16	ρ26	ρ36	ρn6	ρ6

B5 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El objetivo de medir la resistividad es poder representar al suelo mediante un modelo práctico, con el fin de estimar el comportamiento de la red de puesta a tierra del **sistema de protección contra tormentas eléctricas**. Los modelos más comunes utilizados en la representación del suelo son los siguientes:

- a) Suelo uniforme
- b) Suelo heterogéneo o de dos capas

El análisis para la correcta interpretación de resultados puede realizarse mediante dos mecanismos: manual y por medio de programas computacionales. Los programas computacionales representan el medio más eficaz y preciso para obtener una representación del suelo, siendo el mecanismo de análisis recomendado en primera instancia. El análisis manual es sencillo en su aplicación y representa una herramienta que todo diseñador puede utilizar debido a su simplicidad. Los resultados del análisis manual, principalmente para un suelo heterogéneo, deben tomarse sólo como un indicador del suelo, más no como un modelo preciso.

La tabla 1 muestra la forma de registrar los valores medidos en el campo. La primera columna indica el número de medición en cada dirección, la segunda columna indica la separación en metros entre los electrodos auxiliares en cada medición, la columna 3 indica los valores obtenidos en las mediciones para la dirección 1, la columna 4 indica los valores obtenidos en las mediciones para la dirección 2 y así sucesivamente hasta la dirección *n*. La última columna representa el valor de la resistividad del espaciamiento correspondiente entre electrodos calculada como el promedio de las *n* direcciones. Con el fin de determinar la tendencia de la resistividad del suelo, deben graficarse los valores promedio obtenidos en la tabla B.1. En la figura B.3 se muestran curvas típicas de la resistividad aparente promedio del suelo.

B5.1 Suelo uniforme

Una curva de resistividad aparente del suelo se considera homogénea o uniforme, cuando las variaciones entre mediciones promedio se encuentran dentro de una banda del 10%, tal y como se muestra en la curva A de la figura B.3. El modelo homogéneo se utiliza cuando es posible definir a través de un valor medio único las variaciones de resistividad con la separación entre electrodos.

El valor único de la resistividad aparente homogénea ρ_{hm} se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{hm} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 + \dots + \rho_n}{n} \quad (B-3)$$

En donde:

n es el número de mediciones en cada dirección realizadas en campo; y $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ son las resistividades promedio calculadas en cada medición.

B5.2 Suelo heterogéneo de dos capas

El modelo heterogéneo de dos capas generalmente se obtiene mediante la aplicación de programas computacionales. Este modelo, indicado en la figura B.3, representa al suelo por medio de una capa de resistividad superior cuyos límites están indicados por el nivel de suelo y la profundidad, y una capa de resistividad inferior que se proyecta hasta el infinito a partir de la profundidad de la capa superior.

Una curva de resistividad aparente del suelo se considera heterogénea, cuando existe una tendencia ascendente o descendente, como se muestra en las curvas B y C de la figura B3. Si no es posible obtener un modelo de dos capas para el suelo, puede obtenerse un valor indicativo de la resistividad aparente ρ del suelo, conocido como resistividad uniforme equivalente, mediante la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{\rho_{\max} + \rho_{\min}}{2} \quad (B-4)$$

En donde:

ρ_{\max} y ρ_{\min} representan el valor máximo y el valor mínimo, respectivamente, de la resistividad aparente promedio obtenidos en la última columna de la tabla B.1.

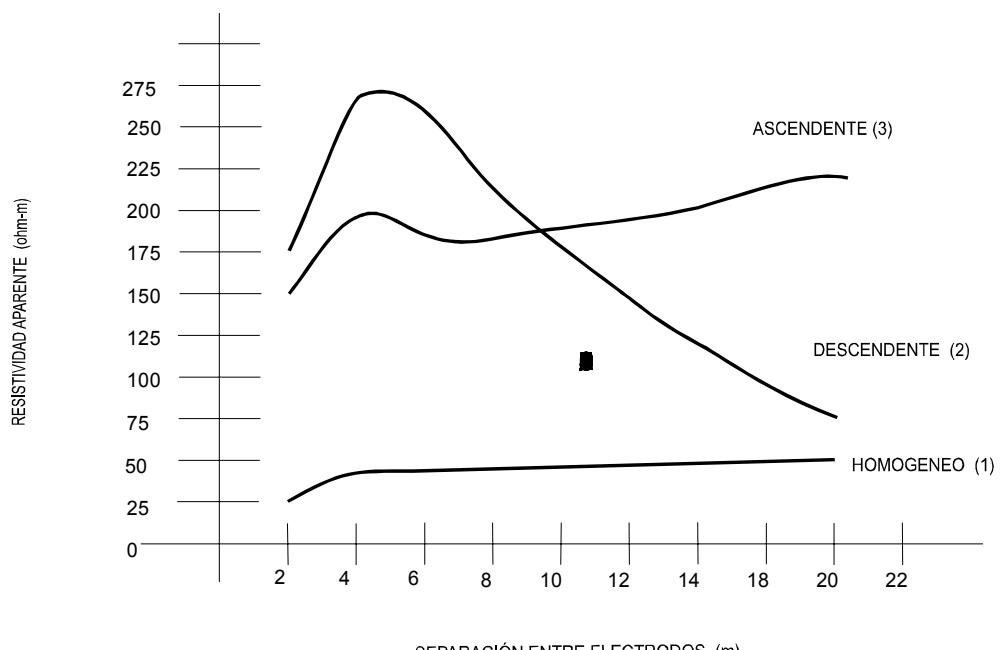


FIGURA B3.- Curvas típicas de la resistividad aparente del suelo

B6 INFORME DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las mediciones deben presentarse en un informe que contenga lo siguiente y debe contener las unidades, conforme con NOM-008-SCFI:

:

- 1) Equipo utilizado.
- 2) Arreglo de medición.
- 3) Valores obtenidos de la medición contenidos en tabla.
- 4) Grafica de los valores de resistividad contra distancia de separación de electrodos.
- 5) Valor estimado de la resistividad representativa del suelo.
- 6) Observaciones.
- 7) Responsable de efectuar la medición
- 8) Fecha de realización de la medición

APÉNDICE C (normativo)

CÁLCULO SIMPLIFICADO Y MÉTODO DE MEDICIÓN PARA LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

C1 GENERALIDADES

Este Apéndice establece una metodología para calcular mediante fórmulas simplificadas la resistencia de puesta a tierra del SPT y la metodología para medir, a través del método de caída de potencial o de los tres electrodos, la resistencia de puesta a tierra del SPT.

C2 EVALUACIÓN ANALÍTICA

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra involucra la aplicación de leyes electromagnéticas para la determinación de gradientes de potencial, potenciales y densidad de corriente de los conductores enterrados que forman la red de puesta a tierra. Actualmente, el tratamiento electromagnético para evaluar el comportamiento de las redes de puesta a tierra se realiza mediante el uso de métodos numéricos. Sin embargo, es posible determinar la resistencia de puesta a tierra del SPT mediante fórmulas simplificadas que, si bien no proporcionan un método exacto, constituyen una forma aproximada de anticipar los resultados esperados en las mediciones de campo.

C2.1 Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo de la figura C.1 se indican los pasos que deben seguirse para evaluar la resistencia de puesta a tierra del SPT desde el cálculo analítico hasta las mediciones en campo.

La información contenida en la figura C.1 es la siguiente:

- a) Obtener las características eléctricas del suelo, mediante mediciones de resistividad, aplicando el criterio del apéndice B.
- b) Obtener la tendencia (ascendente o descendente) de la resistividad del suelo.
- c) Obtener el modelo de dos capas del suelo, o la resistividad uniforme equivalente, aplicando el criterio del apéndice B.
- d) Aplicar un tratamiento analítico riguroso o fórmulas simplificadas, para obtener el valor de resistencia de puesta a tierra del SPT.
- e) Comparar el resultado obtenido con el valor de referencia de 10Ω , indicado en 4.3.4.
- f) Modificar la red de puesta a tierra, en caso de obtener un valor mayor a 10Ω .
- g) Confirmar el valor calculado de la resistencia de puesta a tierra, una vez instalado el SPT, mediante mediciones de campo, de acuerdo a lo indicado en C.3.

La tabla C.1 muestra las fórmulas simplificadas para arreglos típicos utilizados en un SPT, donde:

R	resistencia de puesta a tierra, en Ω
ρ	resistividad uniforme equivalente, en $\Omega \cdot m$
L	longitud total de los electrodos horizontales o verticales de puesta a tierra, en m
A	área de la malla, en m^2
h	profundidad de los electrodos de puesta a tierra horizontales, en m

- d diámetro del **electrodo de puesta a tierra**, en m
 a radio del **electrodo de puesta a tierra**, en m
 L_t longitud total de los electrodos horizontales y verticales, en m

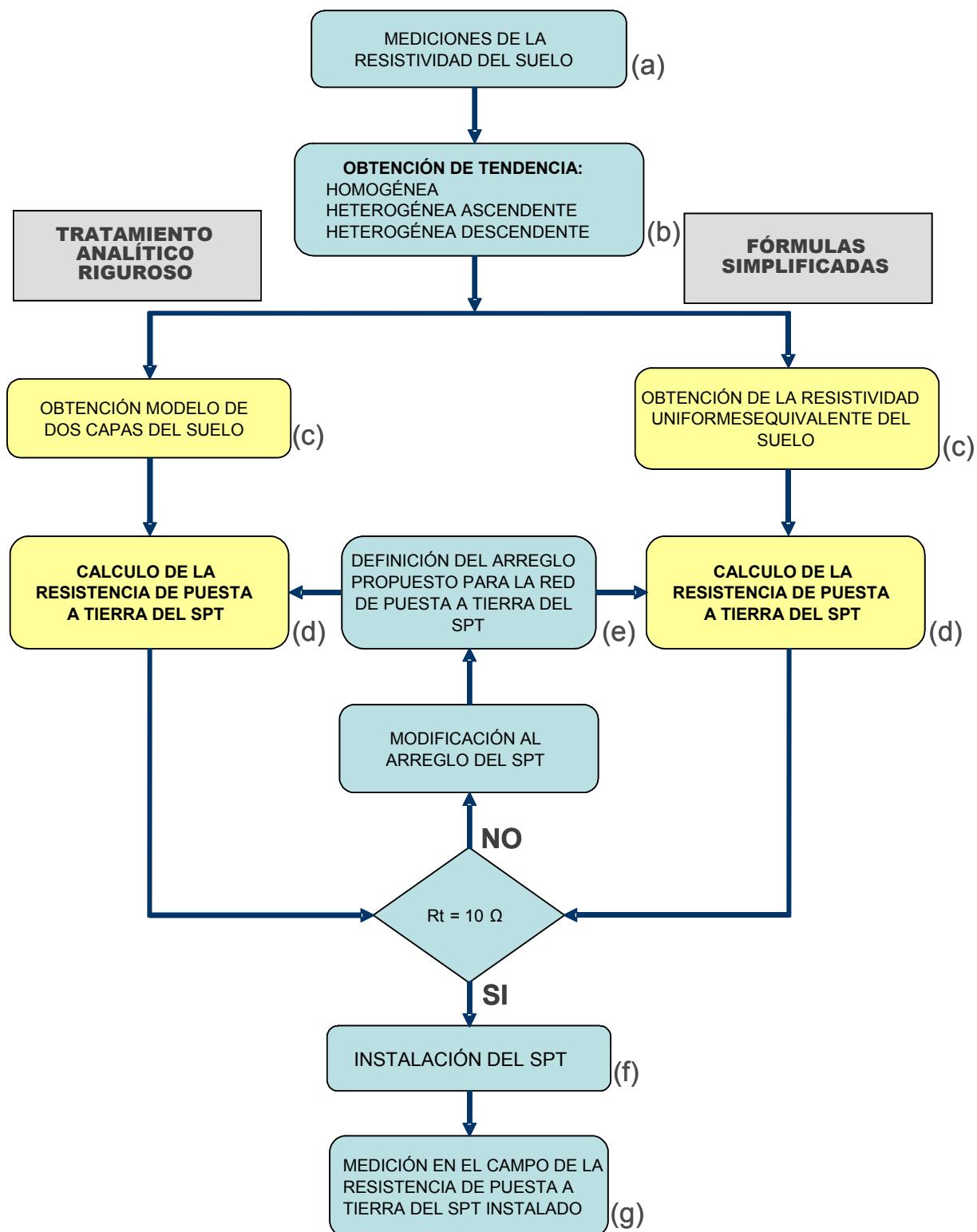


FIGURA C.1.- Diagrama de flujo para la evaluación analítica de la resistencia de un SPT

TABLA C.1.- Fórmulas para calcular la resistencia de puesta a tierra

Arreglo	Vista planta	Fórmula
Para un electrodo vertical		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
Para un electrodo horizontal		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{1,85 h d} \right)$
Para dos electrodos horizontales en "ELE"		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{L^2}{1,27 h d} \right)$
Para tres electrodos horizontales en "YE"		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,767 h d}$
Para cuatro electrodos horizontales en "CRUZ"		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0,217 h d}$
Para seis electrodos horizontales		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2 \cdot 10^3}{9,42 h d}$
Para ocho electrodos horizontales		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2 \cdot 10^4}{2,69 h d}$
Para un anillo cerrado		$R = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right]$

Las figuras C.2 a C.6 muestran los valores de resistencia de puesta a tierra de arreglos típicos indicados en la tabla C.1, sin electrodos verticales (línea sólida) aplicando las fórmulas correspondientes y con electrodos verticales (línea discontinua) indicados en cada figura aplicando un método numérico. La profundidad h de enterramiento es de 0,6 m, el diámetro d de los electrodos de puesta a tierra es de 0,013 m y la resistividad uniforme equivalente ρ es de 100 Ωm . La resistencia de puesta a tierra para otras resistividades puede estimarse multiplicando el valor obtenido de las figuras C.2 a C.6 por el factor ($\rho/100$).

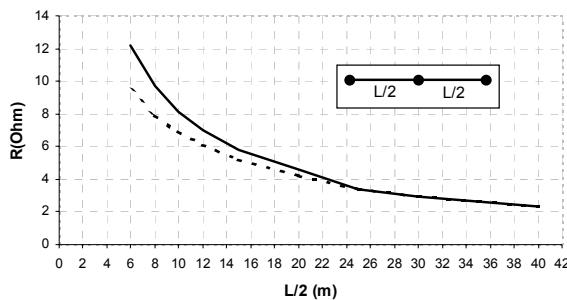


FIGURA C.2.- Resistencia de puesta a tierra para un arreglo con electrodo horizontal en línea y con tres electrodos verticales

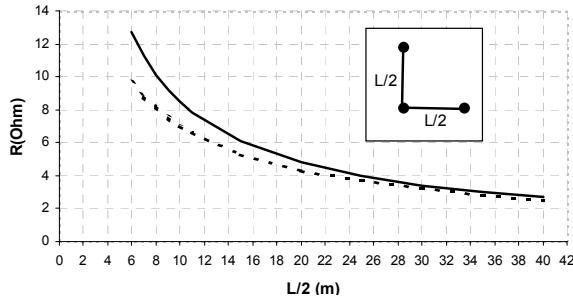


FIGURA C.3.- Resistencia de puesta a tierra para un arreglo con electrodo horizontal en "ELE" con tres electrodos verticales

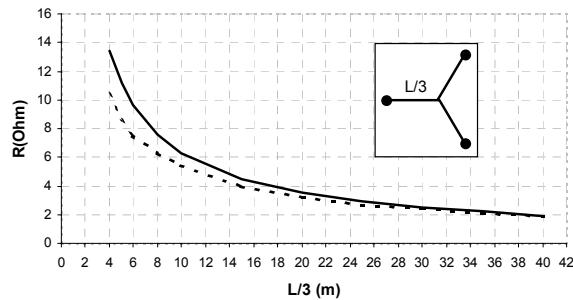


FIGURA C.4.- Resistencia de puesta a tierra para un arreglo de electrodo horizontal en "YE" y con tres electrodos verticales

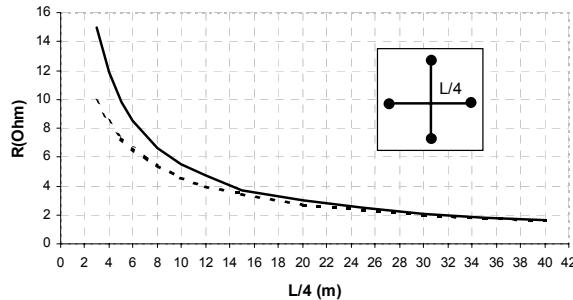


FIGURA C.5.- Resistencia de puesta a tierra para un arreglo de electrodo horizontal en "CRUZ" y con cuatro electrodos verticales

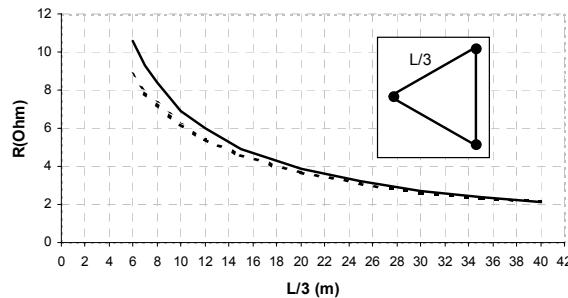


FIGURA C.6.- Resistencia de puesta a tierra para un arreglo de electrodo horizontal en "DELTA" y con tres electrodos verticales. No se indica LA formula simplificada de este arreglo en la tabla C.1.

C2.2 Ejemplo de cálculo

A continuación se muestra un ejemplo para la aplicación de la fórmula simplificada para el arreglo en anillo cerrado.

Red en forma de anillo cerrado de 20 m x 30 m, con 6 electrodos de puesta a tierra verticales (varillas) de 3 metros de longitud, ubicadas en cada esquina y en la parte media de las partes más largas, véase figura C.7. Las líneas continuas representan el conductor enterrado a 0,6 m de profundidad y las varillas de 3,0 m de profundidad están representadas por círculos negros.

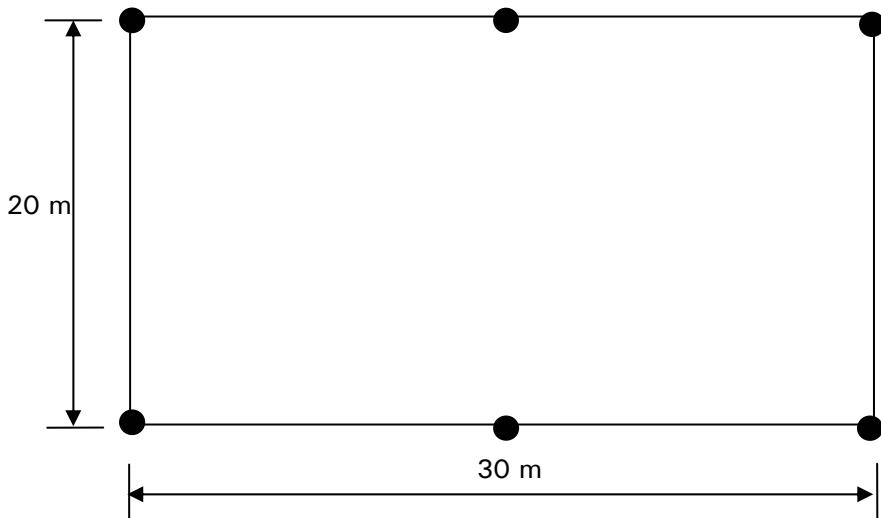


FIGURA C.7.- Red de puesta a tierra para el ejemplo de cálculo comparativo con las fórmulas simplificadas y un tratamiento analítico riguroso

La fórmula simplificada para este arreglo, indicada en la tabla C1, tiene la siguiente expresión:

$$R = \rho \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \Omega \quad (\text{C-1})$$

En donde:

R es la resistencia de puesta a tierra

ρ es la resistividad uniforme equivalente,

L_t es la longitud total del conductor enterrado (horizontales y verticales),

A es el área que forma la malla rectangular y

h es la profundidad de enterramiento de los electrodos de puesta a tierra.

Por lo tanto, los valores para la fórmula son:

$$L = 30 + 30 + 20 + 20 + (3 \times 6) = 118 \text{ m}$$

$$A = 20 \times 30 = 600 \text{ m}^2$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

ρ = resistividad uniforme equivalente en $\Omega \text{ m}$ de acuerdo al apéndice B.

Suponer que se tienen dos tipos de suelo: uno con tendencia ascendente y otro con tendencia descendente. La tabla C.2 muestra los valores promedio de las resistividades encontradas en el campo, de acuerdo al criterio indicado en el apéndice B (última columna de tabla B1).

TABLA C.2.- Mediciones de resistividad del suelo

Distancia entre electrodos m	Tendencia ascendente Ωm	Tendencia descendente Ωm
1	85,3	198,9
2	173,2	169,4
3	242,0	105,2
4	293,6	87,3
6	321,7	75,6
8	344,6	70,4

Calculando la resistividad uniforme equivalente, de acuerdo al apéndice B, se tiene:

Ascendente:

$$\rho = \frac{85,3 + 344,6}{2} = 215 \text{ } \Omega\text{m} \quad (\text{C-2})$$

Descendente:

$$\rho = \frac{198,9 + 70,4}{2} = 134,7 \text{ } \Omega\text{m} \quad (\text{C-3})$$

Aplicando los valores obtenidos en las ecuaciones (C-2) y (C-3) en la ecuación (C-1) se obtienen los valores siguientes de resistencia de puesta a tierra:

Para una resistividad con tendencia ascendente $R = 5,6 \text{ } \Omega$

Para una resistividad con tendencia descendente $R = 3,5 \text{ } \Omega$

Debe considerarse que el valor de resistencia de puesta a tierra obtenido con una resistividad con tendencia ascendente, generalmente es menor al valor esperado mediante las mediciones de campo y, por el contrario, el valor de la resistencia de puesta a tierra obtenido con una resistividad con tendencia descendente generalmente es mayor al valor esperado mediante las mediciones de campo.

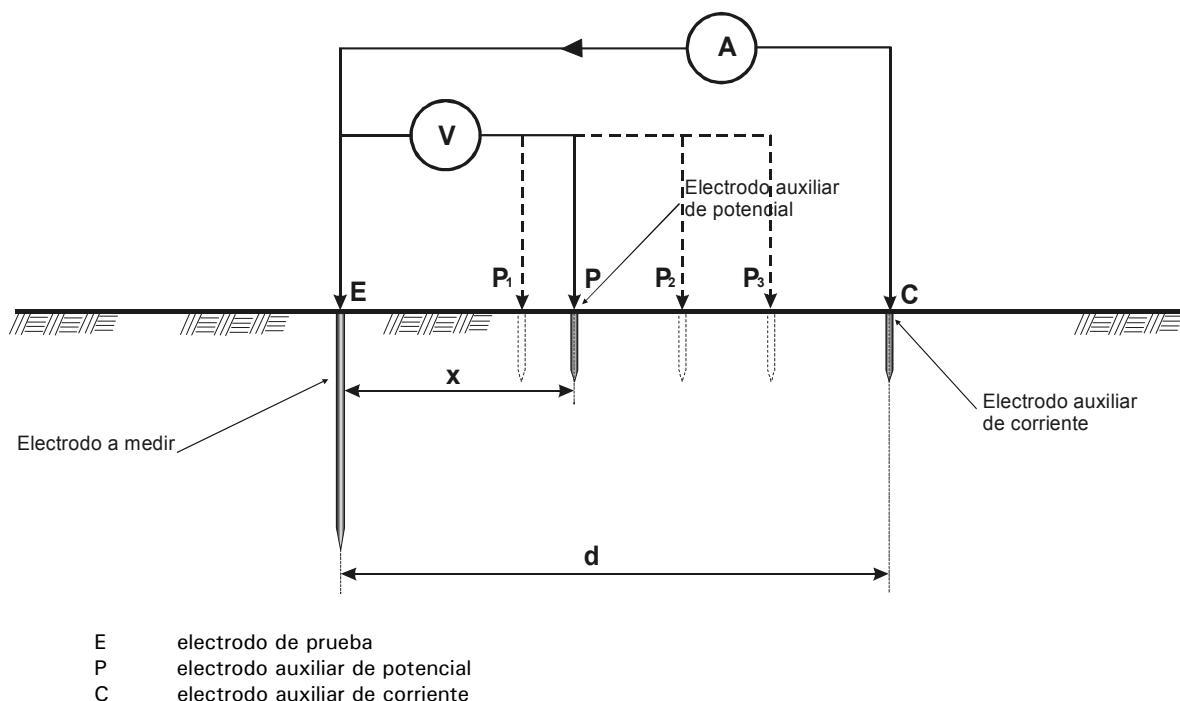
El caso más crítico es cuando la resistividad del suelo tiene una tendencia ascendente, ya que el valor calculado de la resistencia de puesta a tierra siempre está por debajo del valor esperado al medir en el campo. Para este caso y cuando no se obtenga un valor de resistencia de puesta a tierra menor que $10 \text{ } \Omega$ se recomienda aumentar al doble la longitud de los electrodos de puesta a tierra horizontales.

C3 MEDICIONES DE CAMPO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

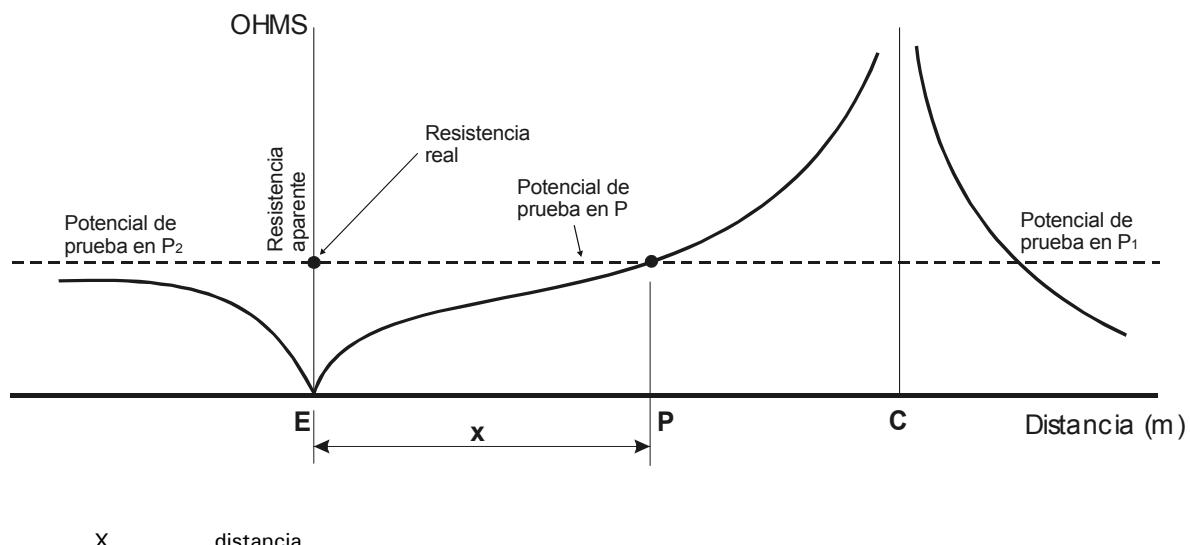
C3.1 Principio de medición

El método consiste en hacer circular una corriente por el electrodo a ser medido y la influencia de esta corriente sobre el electrodo en términos de potencial, es medido entre el electrodo bajo prueba y un electrodo auxiliar de potencial.

Se utiliza un electrodo auxiliar para permitir el paso de la corriente a través del electrodo bajo prueba. Véase figura C.8.

**FIGURA C.8.- Método de caída de potencial**

La corriente de prueba I , que circula entre el electrodo bajo prueba E y el electrodo auxiliar de corriente C , da como resultado una variación de potencial en la superficie del suelo. El perfil de potencial a lo largo de la dirección C , P y E se muestra en la figura C.9.

**FIGURA C.9.- Resistencia aparente para varios espaciamientos de X**

Los potenciales son medidos con respecto al electrodo bajo prueba E, los cuales, por conveniencia, son supuestos, de valor "cero".

El método de caída de potencial consiste en graficar la relación $\frac{V}{I} = R$, como una función de la variación de la distancia X. El electrodo auxiliar de potencial se mueve desde la posición del electrodo bajo prueba hasta la posición del electrodo auxiliar de corriente a incrementos del 10% de la distancia entre el electrodo E y el electrodo C. El valor de la resistencia se obtiene para cada incremento.

La resistencia se grafica en función de la distancia de separación X, el valor estimado de la resistencia buscada puede observarse en la parte plana de la curva, tal como se muestra en la figura C.10.

Con el objeto de obtener la porción plana de la curva, es necesario que el electrodo de corriente sea colocado fuera del área de influencia del electrodo a medir, como se indica en C.3.3.1 incisos 1 y 2.

C3.2 Material y equipo

- a) equipo calibrado de medición de resistencia de tierra con las características siguientes:
 - intervalo de frecuencia de 100 Hz a 200 Hz o mayor
 - posibilidad de proveer alta y baja corriente con valores de 9 mA a 250 mA.
- b) accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición.
- c) En caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre tipo SCE o SCT con una designación de uso más común de 2,08 mm² (14 AWG) o 1,307 mm² (16 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 cm y un diámetro mínimo de 13 mm, de alguno de los siguientes materiales:
 - Acero inoxidable
 - Acero con recubrimiento de cobre
 - Acero galvanizado.

C3.3 Procedimiento de medición

- a) Seleccionar el equipo de medición calibrado para la aplicación
- b) Seleccionar el **electrodo de puesta a tierra** a medir
- c) Definir la posición del electrodo auxiliar de corriente
- d) Definir la posición del electrodo auxiliar de potencial
- e) Incrementar la distancia del electrodo auxiliar de potencial a intervalos homogéneos, hasta alcanzar la longitud total del electrodo auxiliar de corriente
- f) Registrar los valores obtenidos en cada uno de los puntos
- g) Graficar la curva de la resistencia a tierra e identificar la parte plana de la misma

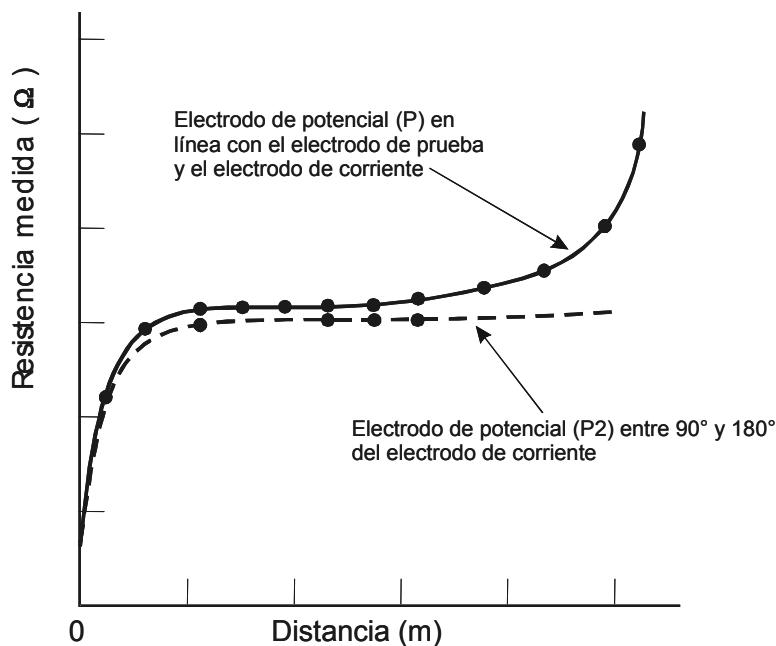


FIGURA C.10.- Curva típica de resistencia de puesta a tierra

C.3.3.1 Durante las mediciones se recomienda lo siguiente:

- 1) Cuando el **electrodo de puesta a tierra** a medir no esté interconectado con los cimientos de la estructura ni con los demás electrodos del SPT, es suficiente ubicar el electrodo auxiliar de corriente a una distancia mínima de 30 m. El arreglo de los electrodos auxiliares para realizar esta medición puede ser en línea recta.
- 2) Cuando el **electrodo de puesta a tierra** a medir esté interconectado con los cimientos de la estructura o con los demás electrodos del SPT, debe considerarse el área de la instalación o el área formado por la interconexión de los electrodos de puesta a tierra. En este caso la distancia entre el electrodo a medir y el electrodo auxiliar de corriente debe ser mayor o igual dos veces la diagonal del área considerada. El arreglo de los electrodos auxiliares para realizar esta medición debe ser entre 90° y 180° entre éstos.
- 3) El electrodo de potencial debe ubicarse inicialmente a 25% de la longitud total del electrodo auxiliar de corriente a partir del electrodo a medir. El intervalo entre mediciones moviendo el electrodo de potencial debe ser tal que se realicen por lo menos 10 mediciones hasta completar la distancia total del electrodo de corriente.
- 4) El valor a utilizarse como representativo de la resistencia de puesta a tierra, es aquel que se encuentra en la región plana de la curva, y cuya diferencia con valores adyacentes no sea mayor al 5 %.
- 5) Debe asegurarse que los electrodos auxiliares tengan un contacto firme con el suelo, los cables sean eléctricamente continuos y los conectores utilizados estén firmemente conectados.

C3.4 Informe de resultados

Los resultados obtenidos en las mediciones deben presentarse en un informe que contenga lo siguiente y debe contener las unidades, conforme con NOM-008-SCFI:

1. Equipo utilizado
2. Arreglo de medición.
3. Valores obtenidos de la medición contenidos en tabla.
4. Grafica de los valores de resistencia de puesta a tierra contra distancia de electrodo auxiliar de potencial.
5. Valor estimado de la resistencia representativa de puesta a tierra.
6. Observaciones de la medición
7. Responsable de realizar la medición
8. Fecha de realización de la medición

APÉNDICE D (Normativo)

MAPA DEL PROMEDIO ANUAL DE DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA POR ESTADOS

Este apéndice muestra las isolíneas para evaluar la **densidad de rayos a tierra** (DRT) en cada Estado de la República Mexicana, excepto la península de Baja California. El mapa de isolíneas por Estado fue elaborado con base en los resultados de un proyecto conjunto entre el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad, en el periodo comprendido entre 1983 y 1993, por lo que las isolíneas representan el promedio anual de dicho periodo. Las unidades de la DRT son rayos/km²/año.

El valor de cada isolínea es de 0,25 y debe tomarse el nivel superior de la isolínea que corresponda a la ubicación de la instalación a proteger.

El valor de DRT que debe tomarse para la península de Baja California es de 2 rayos/km²/año.

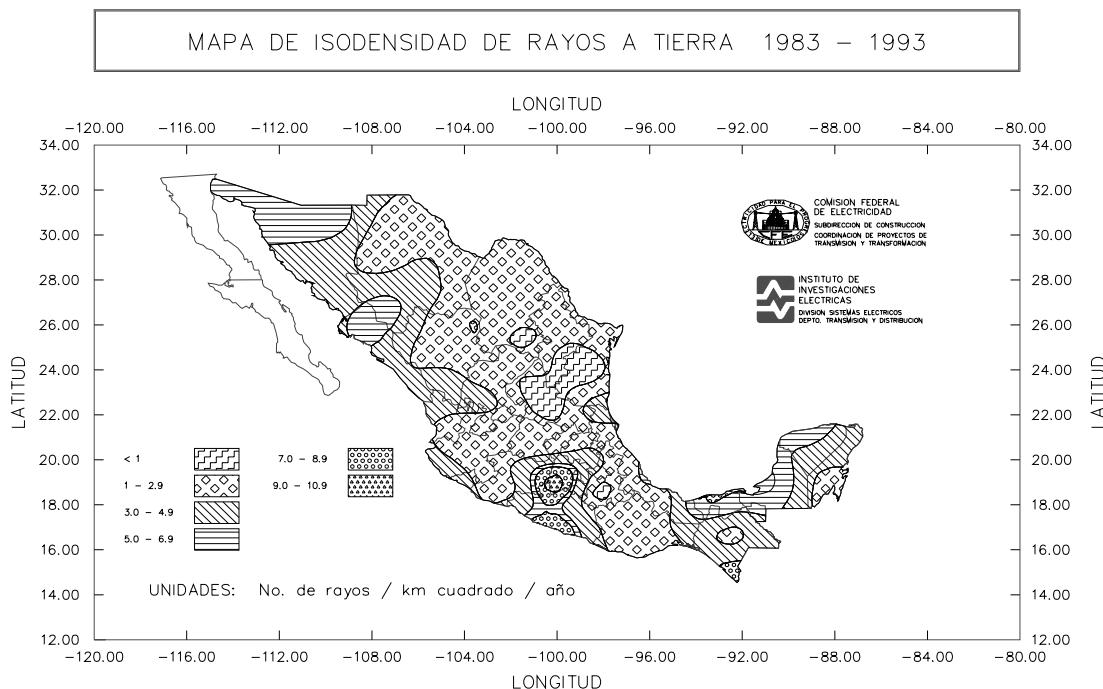


FIGURA D.1.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra

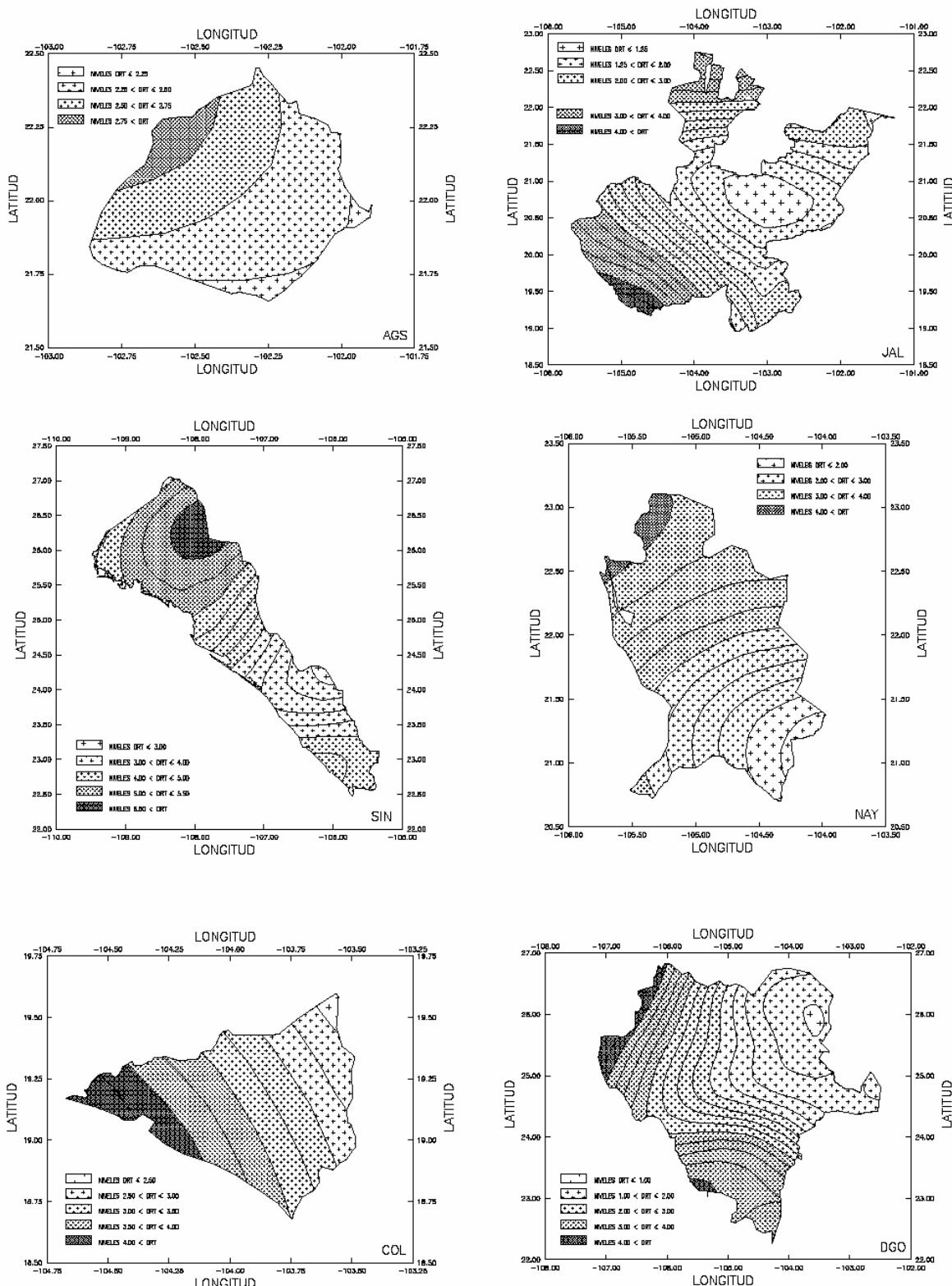


FIGURA D.2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados (continua)

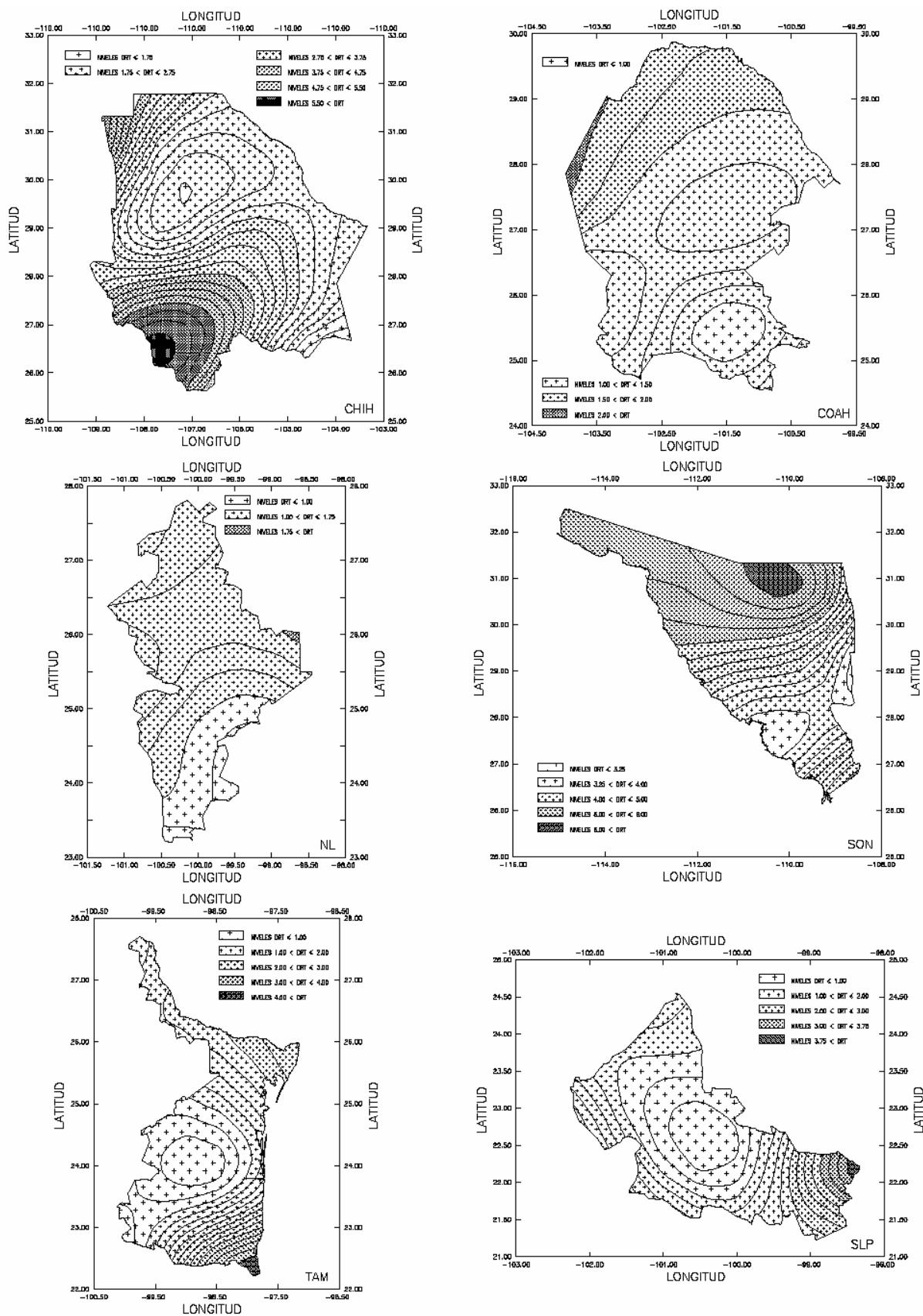


FIGURA D.2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados (continua)

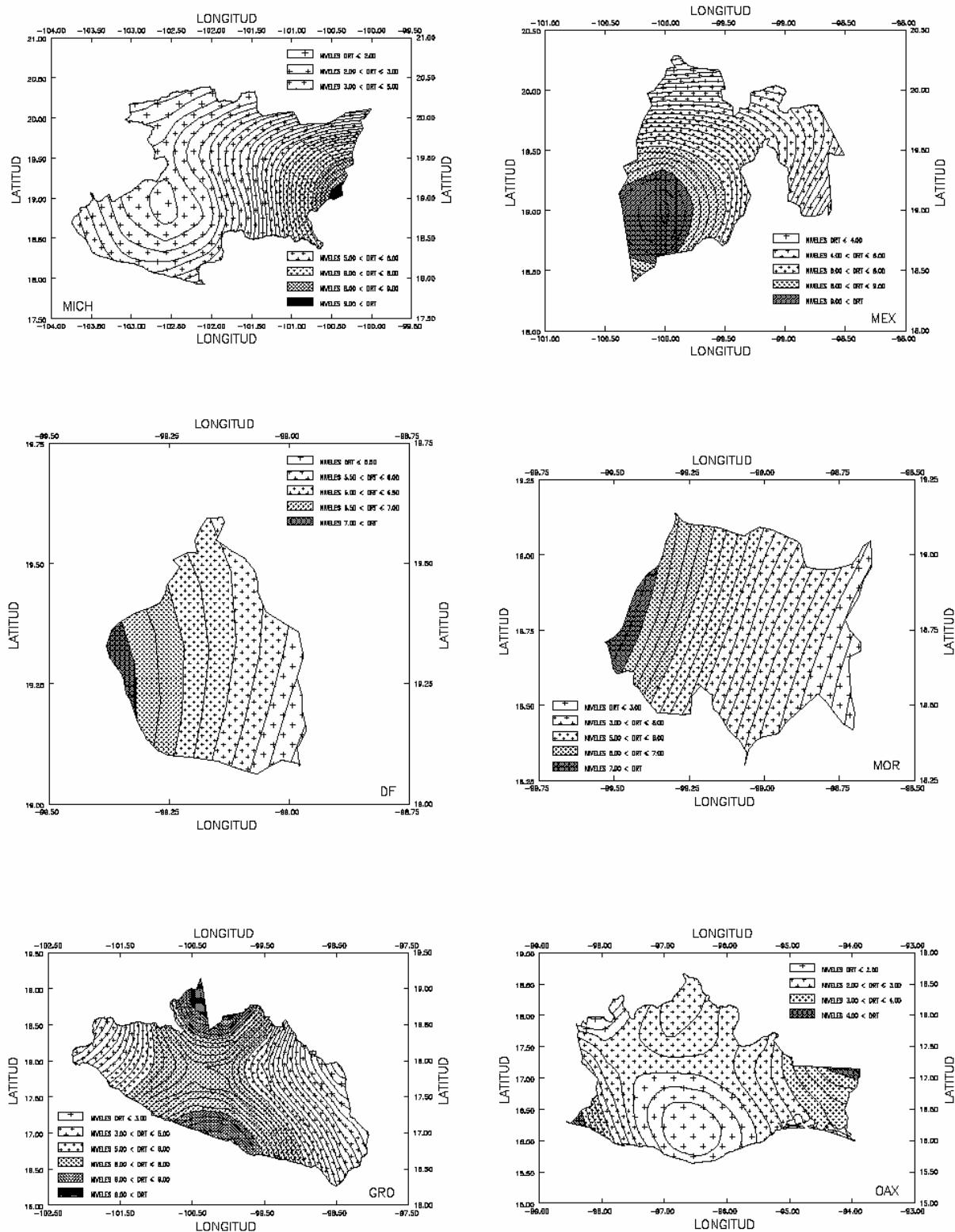


FIGURA D.2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados (continua)

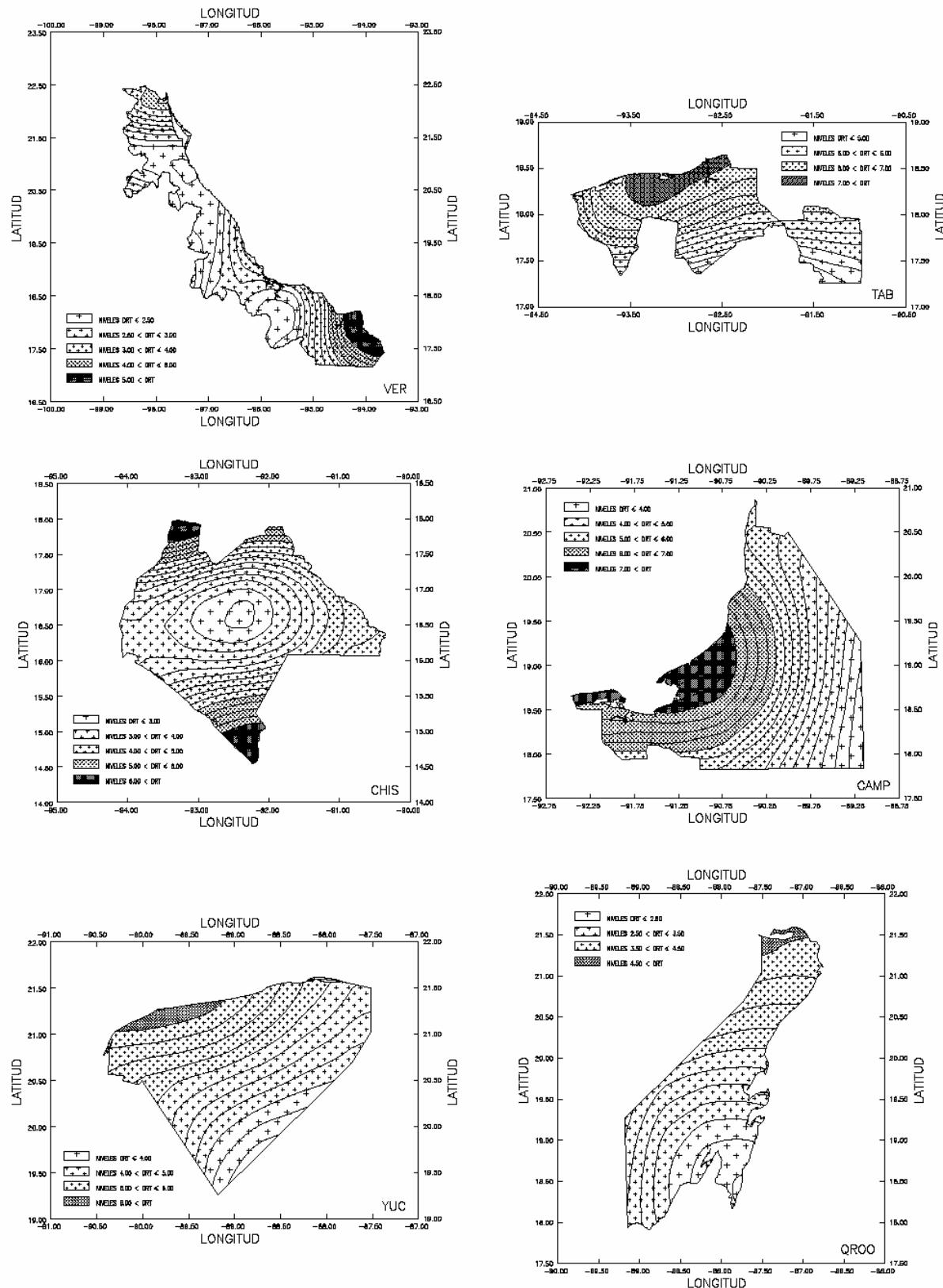


FIGURA D.2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados (continua)

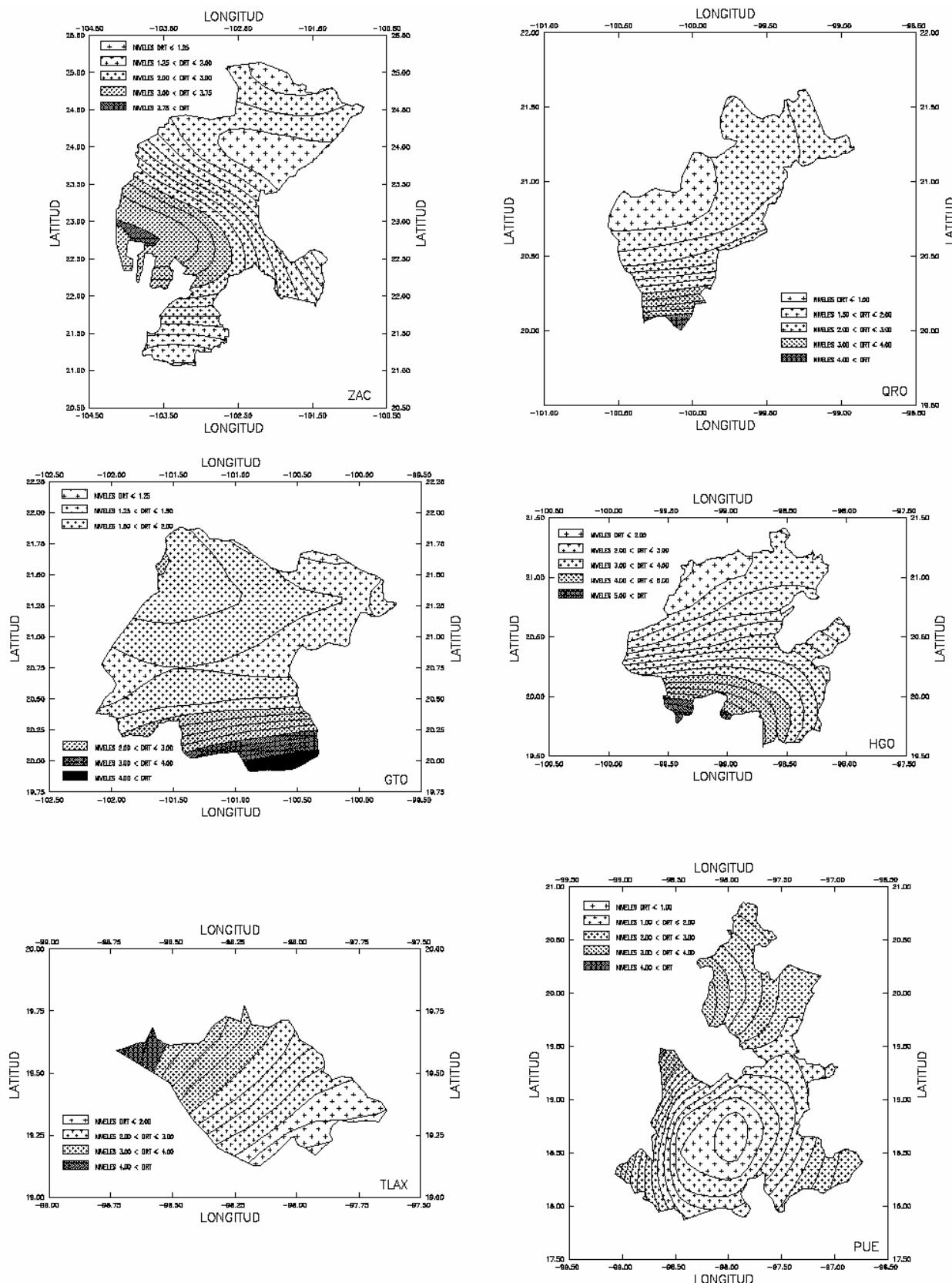


FIGURA D.2.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra por estados (concluye)

8 BIBLIOGRAFÍA

NOM-022-STPS-1999	Electricidad estática en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad e higiene.
IEC 61024-1-1990-03	Protection of structures against lightning Part 1: General Principles.
IEC 61024-1-1993-08	Protection of structures against lightning Part 1: General Principles Section 1: Guide A - Selection of protection level for lightning protection systems.
IEC 61024-1-2-1998-05	Protection of structures against lightning Part 1: General Principles Section 2: Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.
NFPA 780-2002	Standard for the Installation of Lightning Protection systems.
NFC 17-100-1995	Lightning Protection of structures
BSI 6651-1992	Protection of structures against lightning
AS 1768-1991	Lightning Protection
UL 1449-1996	Standard for transient voltage suppressors
ANSI/IEEE C62.41-1991	IEEE Recommended practice on surge voltage in low - voltage AC power circuits.

9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta Norma Mexicana no es equivalente con las normas internacionales, **IEC 61024-1** - Protection of structures against lightning Part 1 : General Principles, **IEC 61024-1-1** - Protection of structures against lightning Part 1 : General Principles Section 1: Guide A - Selection of protection level for lightning protection systems, **IEC 61024-1-2** - Protection of structures against lightning Part 1 : General Principles Section 1: Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems.

Lo anterior, es debido a que la Norma Internacional limita el criterio de protección a estructuras cuya altura sea menor o igual que 60 m. Sin embargo, la Norma Mexicana incluye estructuras sin limitación de altura.

La Norma Mexicana incluye formulaciones simplificadas e información gráfica para estimar la longitud y los arreglos utilizados en la red de puesta a tierra, lo cual difiere con lo establecido en la Norma Internacional.

La Norma Mexicana incluye la asignación de una frecuencia permitida de rayos directos a una estructura para la evaluación de riesgo, debido a que la Norma Internacional lo deja a criterio de la autoridad competente de cada país.

La Norma Mexicana incluye la asignación de los niveles de protección para el blindaje contra rayo de las estructuras, lo cual difiere de la Norma Internacional.

La Norma Mexicana incluye la metodología para estimar la resistividad del suelo, la cual no se contempla en la Norma Internacional.

La Norma Mexicana incluye el método del **ángulo de protección** como un anexo informativo, ya que la aplicación del método de la esfera rodante es suficiente para cumplir con el criterio de protección. La Norma Internacional lo incluye como un anexo normativo.

La Norma Mexicana incluye la protección de instalaciones con riesgo de fuego y explosión. La Norma Internacional no incluye la protección de dichas instalaciones.

La Norma Mexicana incluye un mapa de la **densidad de rayos a tierra** de la república mexicana, debido a que la Norma Internacional lo deja a la autoridad competente de cada país.

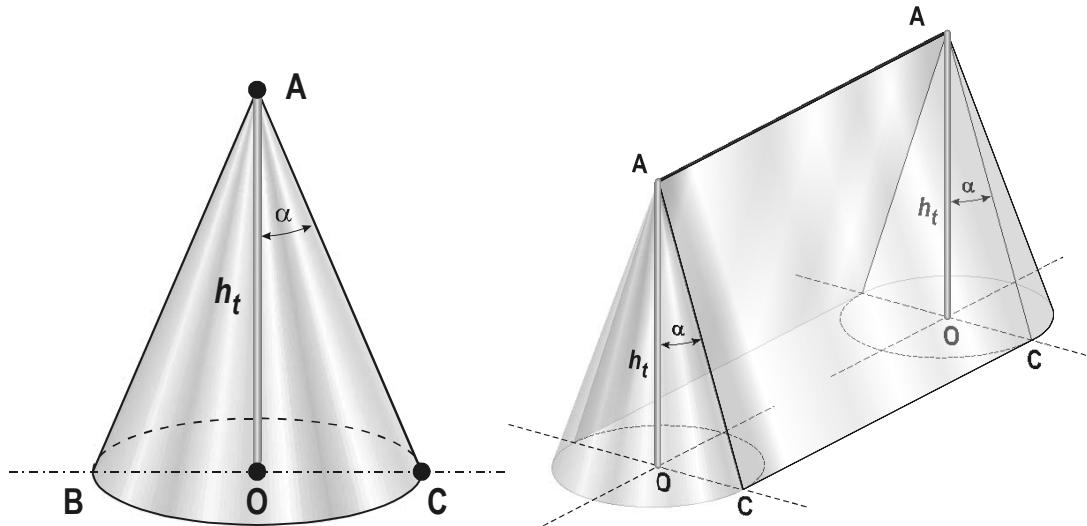
La Norma Mexicana no concuerda con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones Eléctricas (Utilización), en lo referente a sistemas de puesta a tierra, distancia de seguridad (de separación), terminales aéreas (varillas de pararrayos), conductores de bajada (bajadas) y unión equipotencial (puentes de unión), debido a que la NOM-001 contempla estos conceptos de forma genérica y la Norma Mexicana los analiza desde el punto de vista particular de la protección contra descargas atmosféricas.

APÉNDICE E

(Informativo)

MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN

El método del **ángulo de protección** puede observarse en la figura E.1 trazando una línea recta con un ángulo constante α al eje vertical de la terminal aérea se proyecta el perfil del volumen de protección para una terminal aérea horizontal. Rotando la línea trazada alrededor de la terminal aérea se genera la vista superior del volumen de protección para una terminal aérea vertical.



- A Parte más alta de la terminal aérea
- B plano de referencia. (oc) radio del área a protegerse
- h_t altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia
- α ángulo de protección de acuerdo con la tabla E.1

FIGURA E.1.-Volumen de protección proporcionado por el concepto del ángulo de protección para una terminal aérea vertical y para una terminal aérea horizontal.

Las terminales aéreas deben ubicarse de tal manera que todas las partes de la estructura a proteger se encuentren dentro de la zona de protección generada por la proyección ya sea de rotación o traslación a un ángulo α respecto a la vertical en todas direcciones. El ángulo α debe satisfacer los requisitos indicados en la tabla E.1 y figura E.3, en donde h es la altura de la terminal aérea sobre la superficie del objeto a protegerse.

Debido a que el **ángulo de protección** depende del radio de la esfera rodante y la altura de la terminal aérea, su magnitud es diferente para diferentes alturas de las terminales aéreas ubicadas sobre el objeto a protegerse, imponiendo limitaciones en su aplicación cuando la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante, tal y como se indica en la tabla E.1 por medio del símbolo ⁽¹⁾. Debido a que la zona de protección ofrecida por el **ángulo de protección** tiene áreas de menor cobertura que el del método de la esfera rodante, como se observa en la figura E.2, su aplicación debe limitarse a espacios con el mínimo de objetos a proteger en la zona de cobertura. Estas limitaciones presentadas por el método del **ángulo de protección** son resueltas aplicando el método de la esfera rodante.

TABLA E.1.- Ángulo de protección ofrecido por las terminales aéreas para los casos en que las terminales aéreas tienen una altura máxima igual al radio de la esfera rodante del nivel de protección correspondiente

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante r_s (m) y su correspondiente valor de corriente de rayo I(kA)		Ángulo de protección (°)			
	r_s (m)	I(kA)	$h = 20$ m	$h = 30$ m	$h = 45$ m	$h = 60$ m
I	20,	3	25	(1)	(1)	(1)
II	30	6	35	25	(1)	(1)
III	45	10	45	35	25	(1)
IV	60	16	60	45	35	25

h corresponde a la máxima altura de la terminal aérea.
 (1) No se puede aplicar el concepto del **ángulo de protección**, debido a que la altura de la terminal aérea es mayor que el radio de la esfera rodante.

NOTA- La corriente I (kA) es estimada mediante la ecuación (A-2) del apéndice A para el radio r_s (m) correspondiente.

Para determinar el **ángulo de protección** se utilizan diferentes conceptos, como el ángulo optimista, el ángulo de áreas equivalentes y el ángulo conservador, véase figura E.2. El ángulo optimista ha demostrado presentar grandes fallas de blindaje. El concepto generalmente aplicado es el del ángulo de áreas equivalentes, el cual indica que el área cuantitativa de protección proporcionada por el ángulo α es igual al área de protección de la esfera rodante. El **ángulo de protección** se forma por los segmentos AO y AE, véase figura E.2. El **ángulo de protección** α y la distancia de protección horizontal R para el concepto del ángulo de áreas equivalentes, indicado por el ángulo α_2 en la figura E.2, se determinan por las ecuaciones siguientes:

$$R = (h + r_s) \frac{R_1}{h} - \frac{r_s^2}{h} \operatorname{Arccos}(1 - \frac{h}{r_s}) \quad (\text{E-1})$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{h} \quad (\text{E-2})$$

$$R_1 = (2r_s h - h^2)^{0.5} \quad (\text{E-3})$$

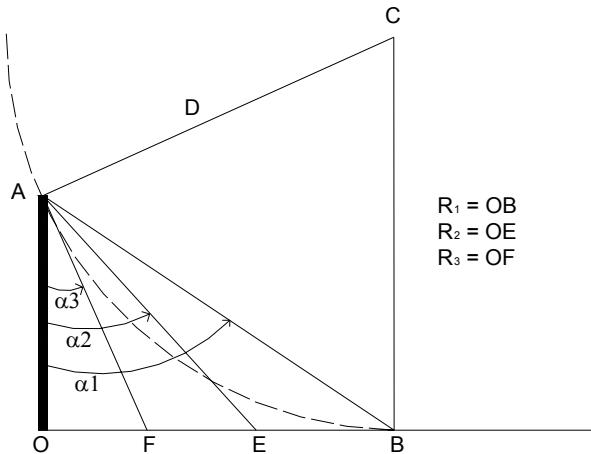
En donde:

h es la altura de la terminal aérea, en m;

r_s es el radio de la esfera rodante, en m;

α es el **ángulo de protección**, de acuerdo al concepto de áreas equivalentes.

R es la distancia de protección de acuerdo al ángulo α .



ángulo optimista (α_1),
 ángulo de áreas equivalentes (α_2)
 ángulo conservador (α_3)
 R_1
 R_2
 R_3

FIGURA E.2.- Conceptos utilizados en el ángulo de protección

Las ecuaciones (E-1) y (E-2) se utilizan para determinar el **ángulo de protección**, de acuerdo al concepto de áreas equivalentes, para diferentes alturas de las terminales aéreas. Este **ángulo de protección** es el que se indica en la tabla E.1. La figura E.3 muestra el **ángulo de protección** para diferentes alturas de las terminales aéreas y para diferentes niveles de protección.

La ubicación de las terminales aéreas de acuerdo al método del **ángulo de protección** se muestra en las figuras E.4 a E.6 para el caso de un SEPTE aislado y en las figuras E.7 a E.9 para el caso de un SEPTE no aislado.

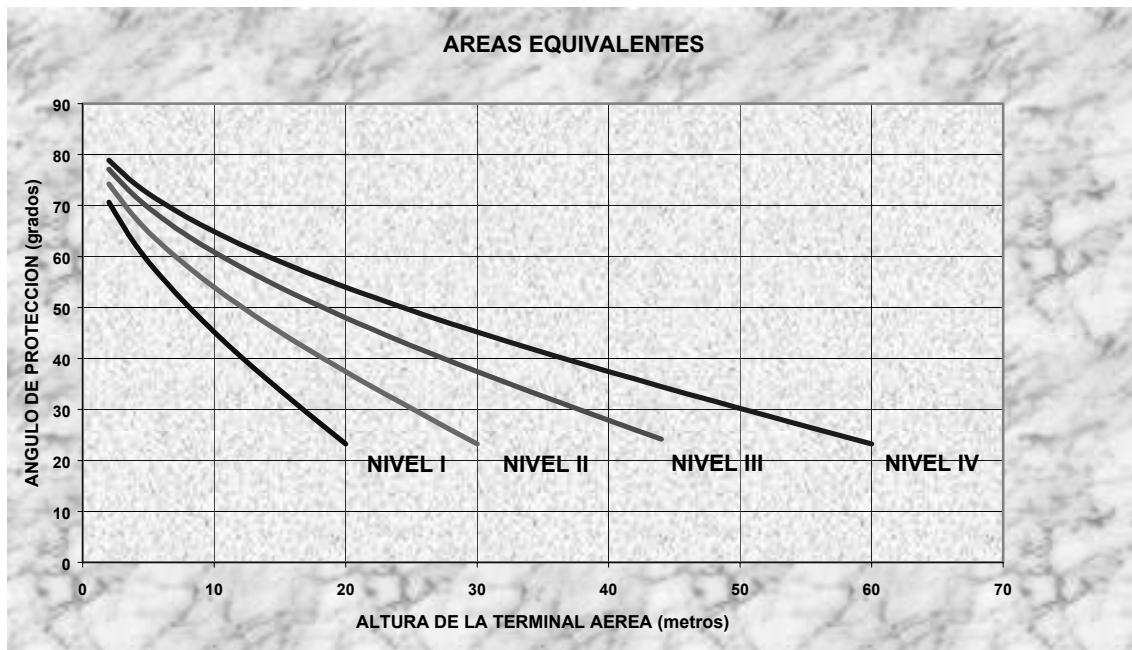
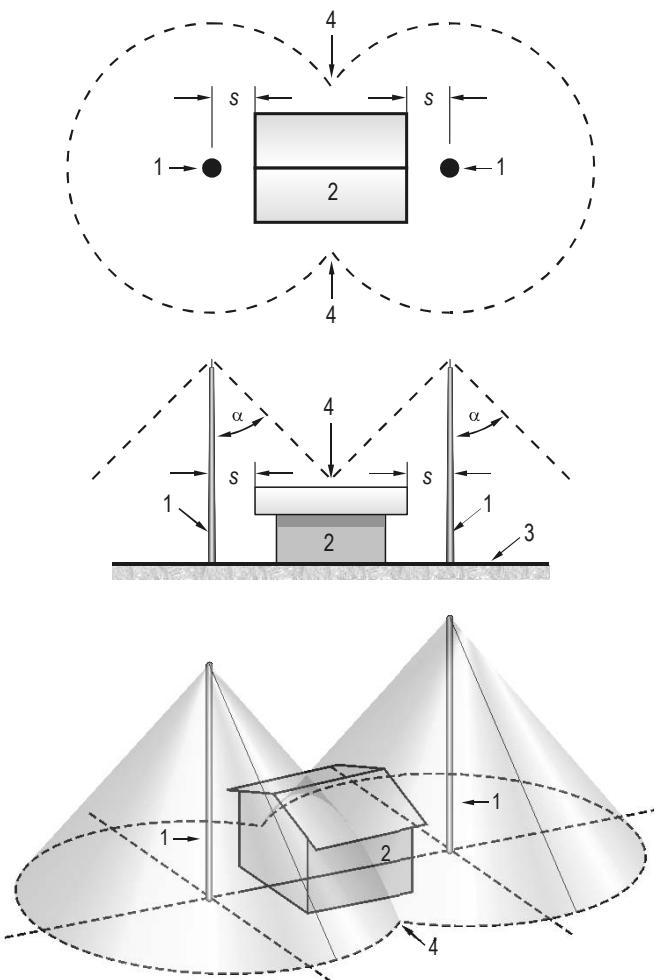
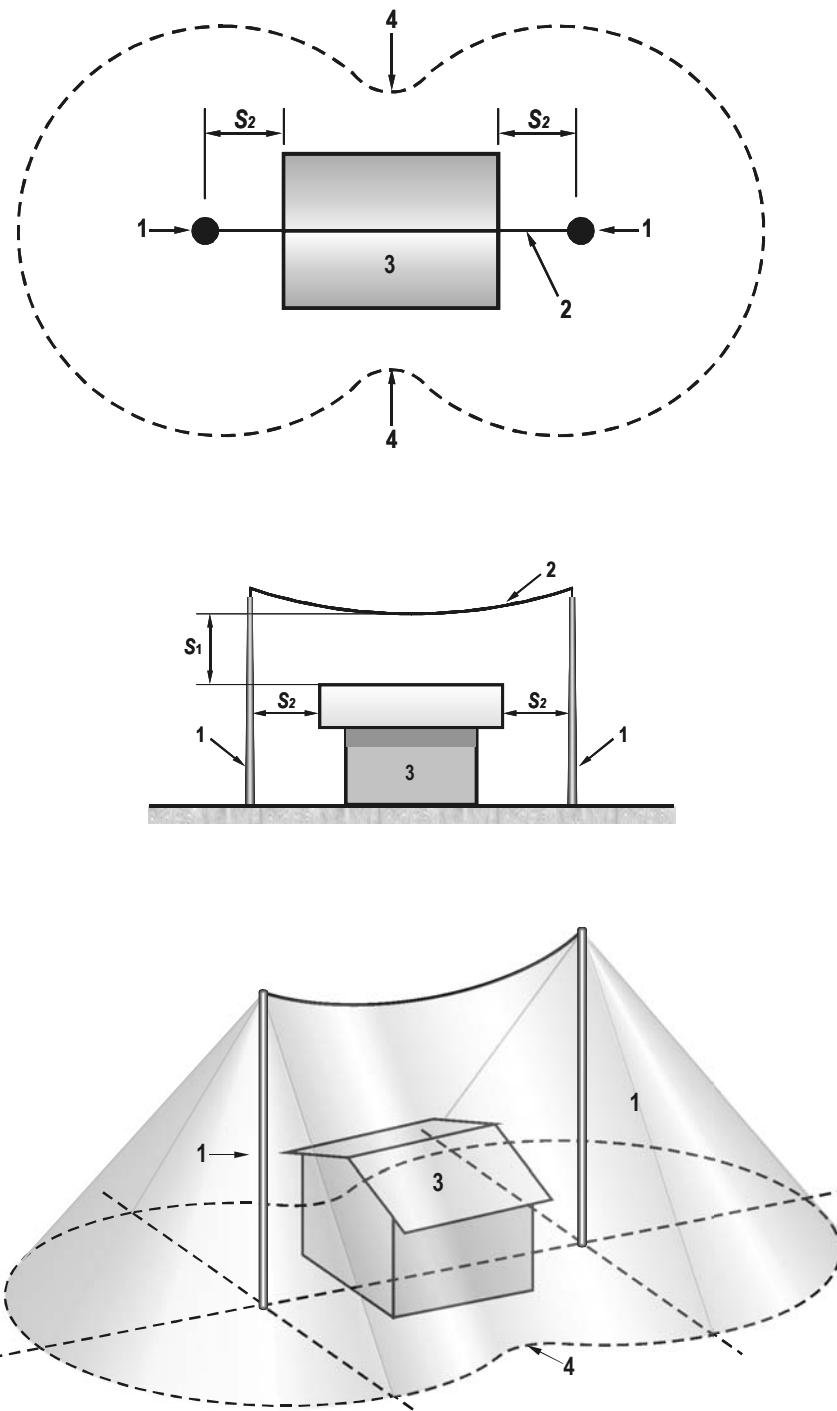


FIGURA E.3.- Angulo de protección de acuerdo al concepto de áreas equivalentes para diferentes alturas de las terminales aéreas y diferentes niveles de protección



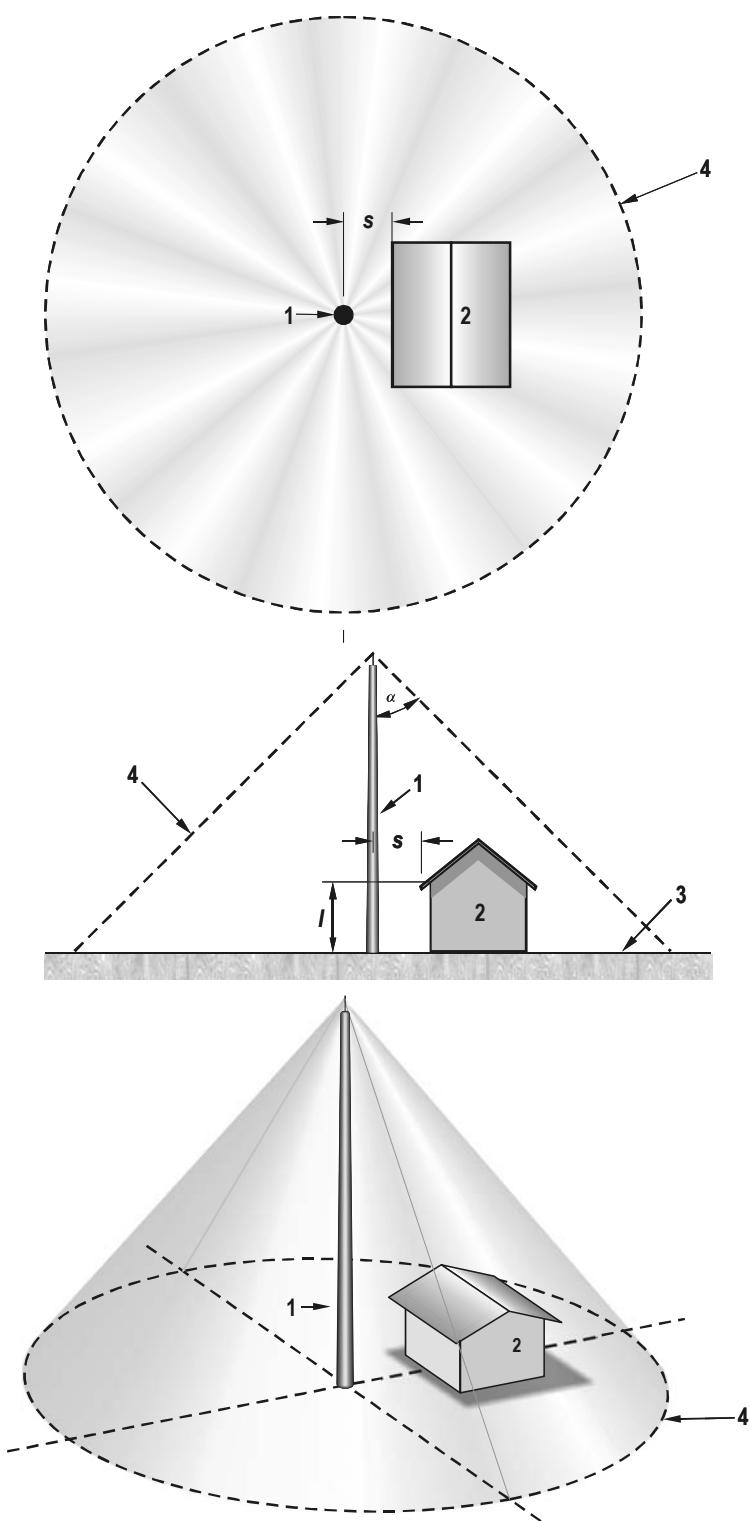
- 1 terminal aérea vertical
- 2 estructura a protegerse
- 3 planos de referencia
- 4 intersección entre los conos de protección
- s distancia de seguridad, sección 4.3.3.4.
- α Ángulo de protección de acuerdo a la tabla E-1

FIGURA E.4.- Método del ángulo de protección utilizando dos terminales aéreas verticales para un SEPTE aislado



- 1 terminales aéreas verticales
2 terminal aérea horizontal.
3 estructura a protegerse.
4 área protegida en vista de planta
 s_1, s_2 distancias de seguridad
 α ángulo de protección

FIGURA E.5.- Método del ángulo de protección utilizando dos terminales aéreas verticales interconectadas por medio un conductor horizontal para un SEPTE aislado



(1) terminal aérea vertical.

(2) estructura a protegerse.

(3) plano de referencia.

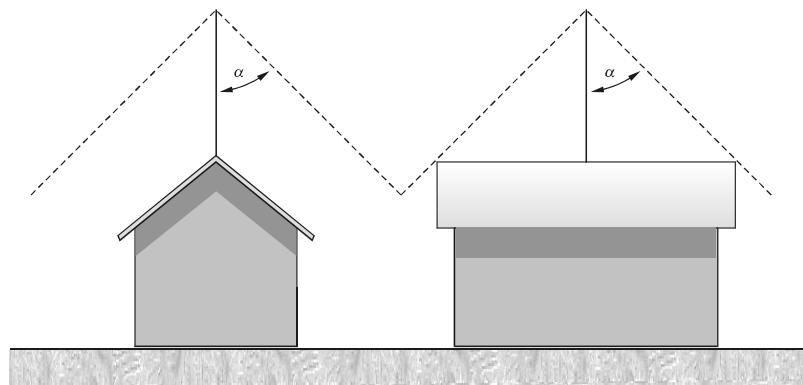
(4) área protegida en vista de planta.

(I) longitud para la evaluación de la distancia de seguridad s de acuerdo, sección 4.3.3.4.

(α) ángulo de protección.

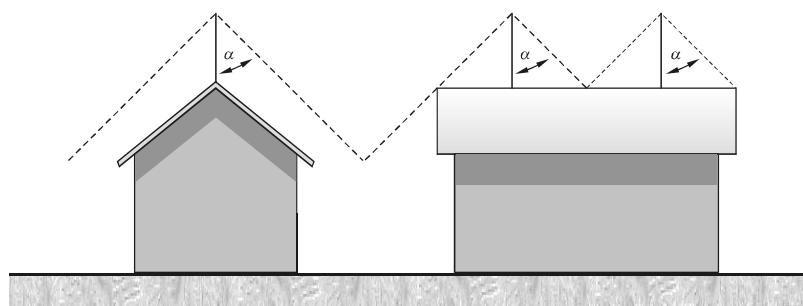
(s) distancia de seguridad

FIGURA E.6.- Método del ángulo de protección utilizando una sola terminal aérea vertical para un SEPTE aislado



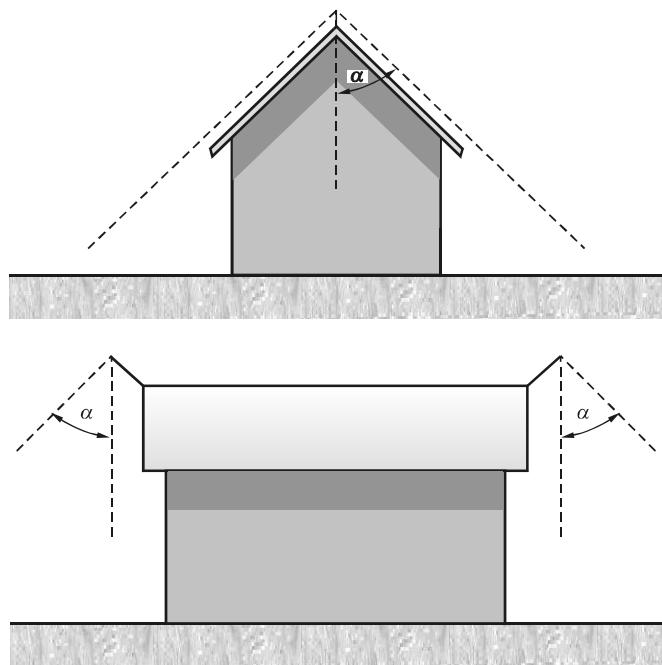
α ángulo de protección

FIGURA E.7.- Método del ángulo de protección utilizando terminales aéreas verticales para un SEPTE no aislado



α ángulo de protección

FIGURA E.8.- Método del ángulo de protección utilizando terminales aéreas verticales para un SEPTE no aislado



α ángulo de protección

FIGURA E.9.- Método del ángulo de protección utilizando una terminal aérea horizontal para un SEPTE no aislado, con terminales aéreas inclinadas en los extremos

APÉNDICE F

(informativo)

EVOLUCIÓN DE LOS CRITERIOS DE PROTECCIÓN DE LA ESFERA RODANTE

El criterio de protección basado en el método de la esfera rodante se apoya en observaciones científicas, experimentos en laboratorio, mediciones de campo de la **corriente de rayo** y su interrelación con el último paso de la descarga, siendo éste último el parámetro más importante en la definición del radio de la esfera rodante.

En las últimas décadas, la investigación en la protección contra tormentas eléctricas ha mostrado dos tendencias: una relacionada con la modificación de la terminal aérea como punto de sacrificio con el objeto de aumentar la cobertura de protección, y la otra relacionada con el mejoramiento de los criterios de protección incluyendo parámetros adicionales, con el objeto de aumentar la eficiencia del sistema de protección.

El consenso internacional indica que a mediano y largo plazo, es mejor aumentar la eficiencia de la protección basados en la ubicación y espaciamiento de las terminales aéreas de intercepción de rayo, así como la geometría de la terminal, para obtener un mejor costo-beneficio. Por lo anterior, esta norma mexicana incluye todo tipo de terminales aéreas para la protección contra rayo directo, excepto las radioactivas, siempre y cuando se cumplan las especificaciones de esta norma, que utilicen como un punto preferente de impacto de rayo y se instalen conforme al criterio de protección del método de la esfera rodante.

Los resultados obtenidos en investigaciones recientes han creado una perspectiva de mejoramiento en los criterios de protección contra rayo y está basado en la inclusión de parámetros adicionales a los ya utilizados en el método de la esfera rodante. Estos parámetros adicionales sujetos a investigación son los siguientes:

- a) Efecto sobre los parámetros ambientales de la altura sobre el nivel del mar en la física de la descarga del rayo.
- b) El efecto cuantitativo de la altura de las terminales aéreas utilizadas en la protección cuando se encuentran en diferentes zonas de gradiente de potencial generado por el desarrollo del rayo.
- c) El efecto de la intensificación del campo eléctrico creado por la propia estructura o la terminal aérea debido a sus características geométricas y su impacto en la eficiencia de la protección.
- d) La variación de la probabilidad de descarga de los diferentes elementos en la estructura.
- e) Los parámetros físicos de rayo como son: carga eléctrica del líder, velocidad de propagación tanto del líder descendente como del líder ascendente, índice de isodensidad y **corriente de rayo**.

El método de la esfera rodante es un método consensuado internacionalmente, cuyo principal objetivo es reducir el riesgo de incidencia directa sobre personas y estructuras en áreas de trabajo o esparcimiento. La inclusión de parámetros adicionales en el método de protección para mejorar el costo-beneficio del sistema de protección con base en terminales aéreas puede implicar la reducción de puntos de sacrificio para la intercepción del rayo. Es por eso, que los resultados obtenidos en laboratorio y en campo deben ser avalados y consensuados internacionalmente a través de la normatividad internacional antes de ser aplicados, ya que lo que está en juego es la seguridad de las personas y las instalaciones y su contenido. Esta norma mexicana se actualizará y modificará con base en la normatividad internacional, con el fin de actualizar su contenido en las revisiones correspondientes

APÉNDICE G

(informativo)

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD PARA PERSONAS EN CASO DE TORMENTA ELECTRICA

La descarga eléctrica atmosférica, conocida como rayo, es un evento aleatorio e impredecible. Estadísticamente, las víctimas por rayo son una de las principales causas de muerte por fenómenos atmosféricos. La mayoría de los afectados han sido personas que se encontraban en áreas abiertas durante estos fenómenos atmosféricos, tales como áreas recreativas, campos deportivos, playas, valles y montañas.

Por cada víctima mortal existen al menos tres personas que sufren secuelas permanentes o de larga duración. En su mayoría presentan afectaciones o pérdida de memoria, trastornos del sueño, irritabilidad y problemas musculares o en articulaciones.

La aplicación de las medidas de prevención indicadas en este apéndice, ayuda a reducir el riesgo que pueda derivarse de los rayos en las personas.

Ante esta problemática se debe establecer un plan de emergencia que considere las actividades que se deben realizar antes, durante y después de que se presente la **tormenta eléctrica**. En cualquier plan de emergencia debe revisarse y asegurarse que se incluyan lineamientos relativos a la protección contra rayo.

Antes de la tormenta:

Identificar la presencia de una **tormenta eléctrica**. La identificación puede realizarse de dos maneras: mediante la observación del estado atmosférico y con el apoyo de dispositivos de detección. Las condiciones a observar son las siguientes:

- Proximidad de nubes oscuras, imponentes o amenazadoras;
- Rayos y truenos distantes; y
- Ráfagas de viento

Los dispositivos de detección que pueden utilizarse para la identificar la presencia de tormentas eléctricas, se identifican como:

- a) Dispositivos simples: Un receptor de radio AM

La incidencia de un rayo produce una señal de ruido en la banda de AM lo que permite identificar la presencia de una **tormenta eléctrica**. Puede estimarse la cercanía de la **tormenta eléctrica** mediante la frecuencia con la que se perciben las descargas en el radio o tomando el tiempo que transcurre entre la detección visual del rayo (o la señal de ruido del radio) y cuando se escucha el trueno asociado. Si este tiempo es menor a 30 s, la tormenta está cerca.

NOTA - La distancia a la **tormenta eléctrica** es de 1 km por cada 3 s transcurridos entre la brillantez del rayo y el trueno.

- b) Dispositivos complejos: Detectores de campo eléctrico

Existen medidores de campo eléctrico que permiten identificar la presencia de tormentas eléctricas cuando sobrepasan un umbral definido. Existen también sistemas localizadores de tormentas en tiempo real y sistemas de detección a través de satélite atmosféricos.

Los dispositivos permiten alertar con la suficiente antelación para tomar las medidas de seguridad o prevención y buscar refugio. Sin embargo, y aún cuando la tecnología e instrumentación han demostrado su efectividad, no pueden garantizar la seguridad para las personas. Por lo que deben ser usados únicamente como un instrumento de ayuda para la etapa inicial y final de la **tormenta eléctrica**.

Durante la tormenta:

Si se encuentra en interiores:

- Evitar salir al exterior y alejarse de puertas y ventanas. Cerrar ventanas, cortinas y persianas.
- Evitar caminar sobre suelos húmedos o con calzado mojado.
- Evitar la utilización de equipo eléctrico o teléfono alámbrico.
- Evitar el contacto con todo objeto metálico, aparatos eléctricos, marcos de ventanas, incluyendo tuberías metálicas.
- Si no se tiene ninguna protección contra sobre tensiones eléctricas, es conveniente desconectar los equipos eléctricos o electrónicos, incluyendo las conexiones por línea telefónica o por servicio de cable.

Es importante considerar que un albergue o construcción que cuenta con un **sistema de protección contra tormentas eléctricas** es mucho más seguro que el que no lo tiene.

Si se encuentra en exteriores:

- Evitar correr para escapar de la tormenta. Hacerlo rápido, pero con calma.
- Buscar refugio si es posible, al interior del edificio más cercano. Evitar refugiarse debajo de una torre metálica.
- En un bosque, buscar refugio debajo de un lugar densamente poblado de árboles pequeños. Evitar refugiarse debajo de un árbol aislado.
- En caso de encontrarse en zona de jardín o en campo abierto y sin posibilidad de protegerse por alguna estructura, evitar permanecer de pie. Colocarse de rodillas, doblarse hacia delante y poner las manos en las rodillas. Evitar estar en posición erguida.
- Evitar estar cerca de estructuras como torres, árboles, cercas metálicas, líneas telefónicas o cables de alta tensión u objetos metálicos.
- Evitar utilizar herramientas y objetos metálicos (paraguas, palos de golf, herramientas, etc.).
- Evitar contacto con el agua. Si se encuentra en una alberca o a la orilla del mar, debe salir inmediatamente y buscar refugio.
- Evitar estar cerca del sistema de pararrayos: De las puntas o terminales aéreas, los cables que forman la malla en azoteas, los conductores de bajada y los electrodos de conexión a tierra.
- Evitar estar cerca de cualquier objeto metálico, equipos o instrumentos agrícolas, motocicletas, carritos de golf, palos de golf, bicicletas, tubos de metal, rieles, etc.
- Los vehículos (no convertibles o descapotados) constituyen un buen refugio. Se debe permanecer dentro del automóvil evitando tener algún contacto con el material metálico del vehículo.
- Si alguna persona es alcanzada por un rayo y queda inconsciente, se debe avisar inmediatamente al Servicio Medico de Urgencias (SMU). Si se está capacitado aplicar los primeros auxilios mientras llega el SMU. Procurar el apoyo médico incluso si la persona afectada no se desmaya.

Tenerse presente que muchos de los eventos fatales ocurren en la etapa temprana de la **tormenta eléctrica**, así como en la etapa terminal. Esta última etapa es importante, porque la actividad

atmosférica de rayos puede persistir, hasta 30 min después de haberse escuchado o visto el último rayo.

Después de la tormenta

- Realizar una verificación de la(s) estructura(s) o instalación(es) al terminar la tormenta para buscar los posibles daños provocados por esta.
- Reportar la caída de cables de servicio público.
- Inspeccionar el sistema de pararrayos para detectar y ordenar a la brevedad posible, la reparación de los daños que se hubieren generado.
- Revisar todos los equipos eléctricos y electrónicos, programar la reparación de aquellos que resulten dañados.
- Reportar al Servicio Meteorológico Nacional del siniestro acontecido y el balance de pérdidas humanas y/o materiales para efectos estadísticos posteriores.

En empresas o instituciones donde la población de empleados es considerable, el encargado de seguridad industrial debe difundir las recomendaciones del plan de emergencias. Cada empresa o institución debe hacer un *plan detallado* que tome en cuenta las particularidades de sus procesos productivos.