



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LOPEZ MATEOS"**

**"DISEÑO DE UN SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA  
TORMENTAS ELÉCTRICAS PARA UN EDIFICIO COMERCIAL  
APLICANDO LA NORMA NMX-J-549-ANCE-2005"**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

PRESENTAN:

**RIGOBERTO SALAS MALDONADO  
JAFET GARRIDO TELLEZ**

ASESOR:

**M. EN C. GILBERTO ENRÍQUEZ HARPER**



MEXICO, D.F. MAYO 2009

## *Agradecimiento*

*Antes que nada quiero darle las gracias a Dios por este gran logro de mi vida, con el cual tendré aun las suficientes ganas para salir adelante, y poder pagar con aportes a mi país, para poner muy en alto el nombre de mi escuela, de mi familia y el mío.*

*Este esfuerzo se lo dedico a mi familia en especial a mis padres Eva Maldonado Maldonado y Odón Salas Islas por el inmenso apoyo en todo lo que hago, a mis asesores que fue por ellos y junto conmigo que se culminó este trabajo, y a los que intervinieron que aunque no los menciono siempre los recordaré. A todos ellos gracias por su apoyo y que Dios los bendiga.*

*“Nunca esperes que la montaña venga a tí, tú eres quien debe ir a ella.”*

*Arita A. J. J. A.*

*Rigoberto Salas Maldonado.*

*De la Gloriosa ESIME Zacatenco.*

*Instituto Politécnico Nacional.*

## *Agradecimiento*

*Entre días de sol y noches oscuras, existen héroes ocultos.  
Entre batallas perdidas y guerras ganadas, hay seres de fuerza y amor.*

*Escribo sus nombres, YOLANDA TELLEZ ESQUIVEL Y C. SALVADOR GARRIDO JARDINES, MIS PADRES, quienes con esfuerzo y amor han sembrado en mí, principios, coraje y las armas necesarias para caminar en esta vida, es por esto y mucho mas, que este trabajo lo dedico con todo mi corazón a los dos pilares que me dieron la vida.*

*Jafet Garrido Téllez*

*De la Gloriosa ESIME Zacatenco.*

*Instituto Politécnico Nacional*

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
Objetivo	7
Justificación	9
<b>CAPITULO 1.- Antecedentes</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2. Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas.</b>	<b>14</b>
<u>2.1. Generalidades.</u>	14
2.1.1 Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas.	14
<u>2.2. Valoración de riesgo.</u>	16
2.2.1. Frecuencia de rayos directos a una estructura (centro comercial).	16
2.2.2. Mapa del promedio anual de densidad de rayos a tierra.	16
2.2.3. Frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura.	17
2.2.4. Área equivalente de captura.	18
2.2.5. Evaluación de la necesidad de protección.	18
<u>2.3. Terminales aéreas.</u>	19
2.3.1. Número y ubicación de terminales.	20
2.3.2. Método de la esfera rodante.	20
<u>2.4. Conductores de bajada.</u>	24
2.4.1. Requisitos.	24
2.4.2. Conductores de bajada naturales.	24
2.4.3. Trayectorias de los conductores de bajada y radios de curvatura.	24
2.4.4. Conductores de bajada para un sistema externo de protección no aislado.	27
2.4.5. Distancia de seguridad.	29
<u>2.5. Sistema de puesta a tierra (SPT).</u>	30
2.5.1. Electrodo de puesta a tierra.	30
2.5.2. Factores para el diseño e instalación del SPT.	31
2.5.3. Métodos prácticos para mejorar la eficiencia del SPT.	34
2.5.4. Resistencia a tierra.	35
2.5.5. Electrodo de puesta a tierra en suelos de alta resistividad.	37
2.5.6. Reducción del peligro de choque eléctrico.	37

	<b>Página</b>
<i>2.6. Unión equipotencial a nivel externo (UE).</i>	39
2.6.1. Elementos para lograr la unión equipotencial.	42
<b>CAPITULO 3.- Aplicación del diseño de un SEPTE. (Memoria técnica).</b>	<b>45</b>
<i>3.1.- Generalidades.</i>	45
<i>3.2. Valoración de riesgo (criterios de diseño).</i>	45
3.2.1. Reducción de riesgo.	45
3.2.2. Niveles de Protección.	45
<i>3.3. Análisis de riesgo.</i>	46
3.3.1. Área equivalente de captura.	47
<i>3.4. Nivel de riesgo.</i>	50
<i>3.5. Terminales aéreas de intercepción.</i>	50
<i>3.6. Zonas de protección.</i>	50
<i>3.7. Terminales aéreas: ubicación y altura.</i>	51
<i>3.8. Rodamiento de las esferas de protección.</i>	53
<i>3.9. Consideraciones de instalación.</i>	66
<i>3.10. Unión equipotencial.</i>	67
<i>3.11. Conductores de bajada.</i>	67
<b>CAPITULO 4. Presupuesto de obra</b>	<b>68</b>
<u>4.1. Presupuesto para la instalación de un SPTE.</u>	69
<b>Conclusiones</b>	<b>73</b>
<b>Definiciones</b>	<b>75</b>
<b>Anexo 1. Plano “A”.</b>	<b>80</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>82</b>

# OBJETIVO.

## OBJETIVO

Aplicar la Norma Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005, a un **sistema externo de protección contra tormentas eléctricas** que establece las especificaciones, diseño, materiales y métodos de medición, a un edificio comercial tomado de la realidad para reducir el riesgo de daño para las personas, seres vivos, estructuras, y su contenido.

# JUSTIFICACIÓN.

## JUSTIFICACIÓN

Esta tesis fue elaborada con la finalidad de exponer un caso práctico aplicando la norma mexicana, dicha aplicación contiene datos reales, para que el lector pueda tener una amplia idea de lo importante que son los “SISTEMAS EXTERNOS DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELECTRICAS”, esto debido a la información tan valiosa que una empresa resguarda y maneja, además de los equipos tan costosos que la misma tiene y más aún las personas que en ella laboran, para que se concientice a todo aquel profesional que es estrictamente importante la protección de un inmueble.

# **CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.**

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.

A pesar de lo simple que pudiera parecer el diseño de un sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTE), la experiencia ha demostrado que la mayoría de los problemas originados por la incidencia de rayos, se debe entre otros factores a la aplicación errónea de conceptos fundamentales, desinformación de los usuarios y proveedores de los parámetros y mecanismos básicos que se involucran en el diseño y a la falta de guías prácticas y normas regionales o nacionales.

El fenómeno del rayo asociado con la protección de instalaciones, equipo y personas es muy complejo, debido a los siguientes factores:

- (a) es un fenómeno estocástico,
- (b) depende de una gran cantidad de factores que se interrelacionan entre sí (eléctricos, ambientales, geométricos, etc.),
- (c) sus efectos nocivos se originan tanto por un rayo directo como por fenómenos de inducción,
- (d) la intensidad de la corriente de rayo se presenta en una amplia gama, entre otros.

Una protección contra tormentas eléctricas, que considere todos los factores anteriormente mencionados, sería complicada en su aplicación y diseño. Sin embargo, los investigadores del fenómeno en conjunto con los especialistas dedicados a la protección han podido obtener relaciones y mecanismos simples de protección, basados en observaciones de campo, relaciones electromagnéticas básicas, simulaciones numéricas y de laboratorio y experiencias de protección a lo largo del tiempo.

Este conocimiento se ha tomado como base para la elaboración de normas que sirven como guía básica de diseño.

Para el caso de países que no cuentan con una norma nacional para la protección efectiva contra el efecto de las tormentas eléctricas sobre estructuras, edificios e instalaciones, han adoptado y sirven como referencia las normas internacionales tal como la:

IEC 1024-1(1990): Protection of Structures Against Lightning – Part 1: General Principles,

IEC 1024-1-1(1993): Protection of Structures against Lightning – Selection of Protection levels for lightning protection systems y,

IEC 1024-1-2 (1998): “General Principles. Guide B. Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems”,

No obstante que la información técnica y de diseño contenida en las normas es basta, no proporcionan al usuario una guía práctica para la documentación del diseño del sistema de protección contra tormentas eléctricas. Esto ha generado que los usuarios al no estar familiarizados con el tema y

requieran de un sistema de protección contra tormentas eléctricas en sus instalaciones, normalmente reciban por parte del proveedor, documentación irrelevante y con escasa información sobre los aspectos más importantes de protección.

En México existe la norma mexicana NMX-J-549-ANCE-2005 “SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS –ESPECIFICACIONES, MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN”, la cual surgió por la razón de no contar con una norma nacional para la protección efectiva contra el efecto de las tormentas eléctricas sobre estructuras, edificios e instalaciones.

Por lo anterior, es importante que los usuarios manejen los conceptos básicos necesarios para poder exigir la documentación técnica relevante que cumpla con lo establecido por las normas y que aplicado en campo, garantice la efectividad del sistema de protección y salvaguarde la integridad física de las personas, equipo e instalaciones.

# **CAPÍTULO 2. SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS.**

## CAPÍTULO 2. SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS.

### 2.1 Generalidades.

Un sistema de protección contra tormentas eléctricas (SPTE) diseñado e instalado con las especificaciones indicadas de la 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.

Se considera el diseño y 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, arquitectos, constructores e ingenieros que desarrollaron el sistema de protección contra descargas atmosféricas y los ingenieros involucrados.

#### 2.1.1 Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas.

Las partes principales a seguir para un correcto diseño y aplicación de un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas es:

- Valoración de riesgo.
- Diseño del sistema externo de protección, SEPTE.

Para dicho diseño y aplicación se debe seguir el diagrama de flujo indicado en la figura 1.

Nota: tomar en cuenta que puede no instalarse el sistema externo de protección contra tormentas siempre y cuando los resultados obtenidos en la valoración de riesgo indiquen que la instalación del SEPTE puede omitirse. El contenido de la memoria técnica del SEPTE debe obtenerse siguiendo los pasos indicados en la figura 1.

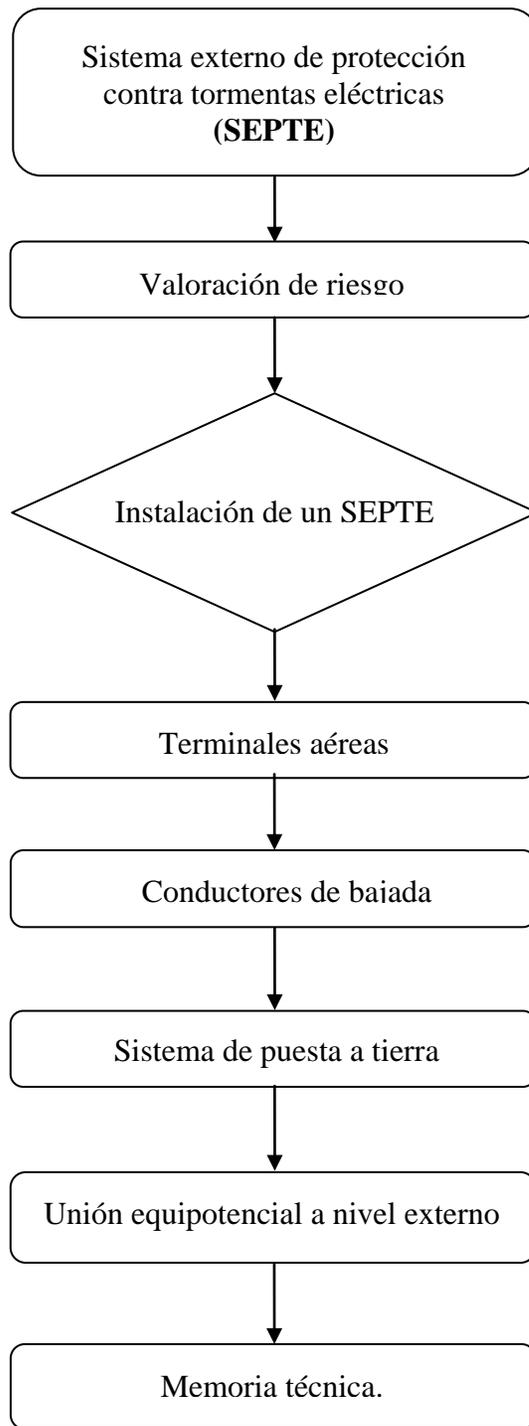


Figura 1.- Procedimiento para el diseño y aplicación de un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas.

## 2.2 VALORACIÓN DE RIESGO.

Es una medida empírica, la cual estima en forma razonable, la probabilidad de incidencia de un rayo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

El diseño de un sistema de protección SEPTE 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. Los resultados de la valoración de riesgo determinan la necesidad o no de instalar el sistema externo de protección SEPTE.

### 2.2.1 Frecuencia de rayos directos a una estructura.

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

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

En donde:

$N_o$  es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura.

$N_g$  es la densidad promedio anual de rayos a tierra por  $\text{km}^2$ , (densidad de rayos a tierra, DRT),

$A_e$  es el área equivalente de captura de la estructura, en  $\text{m}^2$

### 2.2.2 Mapa del promedio anual de densidad de rayos a tierra.

Las isolíneas son mostradas para evaluar la densidad de rayos a tierra (DRT) en las diferentes zonas en el estado de Coahuila y representan el promedio anual de dicho periodo. Las unidades de la DRT son rayos/ $\text{km}^2$ /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.

**Nota.-** El mapa de isolíneas 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.

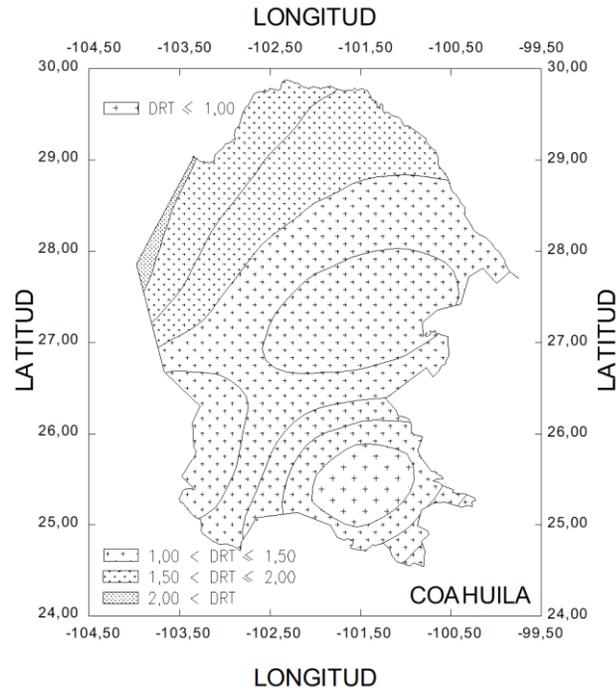


Figura 3.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra del estado de Coahuila Saltillo, (localizado en el noreste de México).

### 2.2.3 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.

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

NOTA 2: Nuestro estudio esta basado en un centro comercial.

Tabla 1.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras de centros comerciales.

Estructura común	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia ( $N_d$ )
Centros comerciales.	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
<b>NOTAS:</b> 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.		

#### 2.2.4 *Área equivalente de captura.*

Es la zona donde en caso de una descarga atmosférica esta incidirá directamente en dicha zona la cual por estadísticas y cálculos es estimada.

Nota: El área equivalente de captura que se estudiará para esta aplicación es de una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano.

#### 2.2.5 *Evaluación de la necesidad de protección.*

Una vez estimado el valor  $N_o$ , debe compararse con el valor de la frecuencia media anual permitida  $N_d$  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.

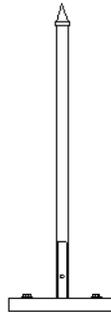
Esta condición significa que el SEPTE puede o no instalarse. Sin embargo, debe considerarse que, aún cuando el riesgo estimado sea menor que el riesgo permitido, existe la posibilidad de que un rayo incida sobre la estructura que no tiene un SEPTE.

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

### 2.3 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:

El arreglo de las terminales aéreas debe cumplir con las especificaciones de materiales y de unión equipotencial adecuadas.

TABLA 2.- Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas.

Material	Sección transversal mm <sup>2</sup>
Cobre	35
Aluminio	70
Acero inoxidable	50
NOTA- Para el acero inoxidable tipo aleación 304.	

TABLA 3.- Espesor mínimo de las hojas y tubos metálicos para terminales aéreas.

Material	Espesor mm
Acero	4
Cobre	5
Aluminio	7

### 2.3.1 Número y ubicación de terminales.

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,

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:

- 1.- Eléctricamente continuos en todas sus partes.
- 2.- No tener revestimientos de material aislante.
- 3.- Estar sólidamente conectados al sistema de puesta a tierra.
- 4.- Cumplir con las especificaciones de materiales.

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. 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.

5. El cálculo del número y ubicación de las terminales aéreas deben cumplir el siguiente punto, de acuerdo con la altura del edificio:

- 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.

### 2.3.2 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.

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. 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.

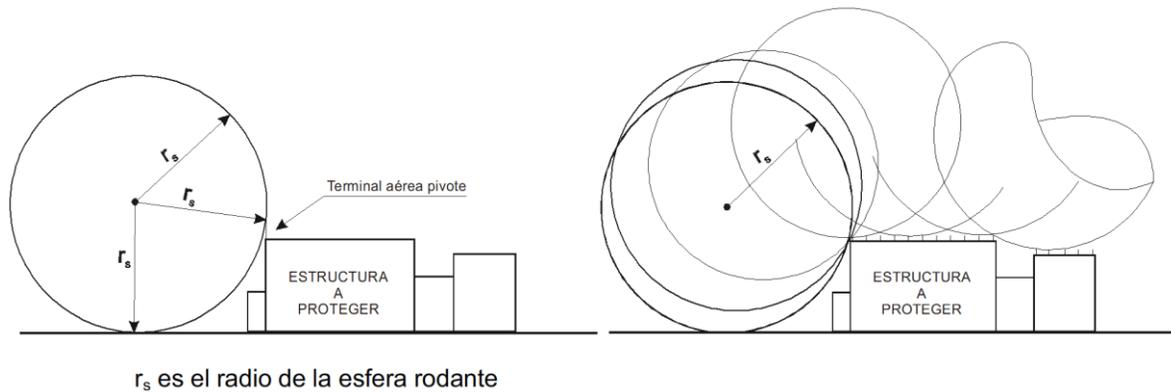


Figura 6.- Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de las terminales aéreas de intercepción de rayo.

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

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado.
Centros comerciales	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

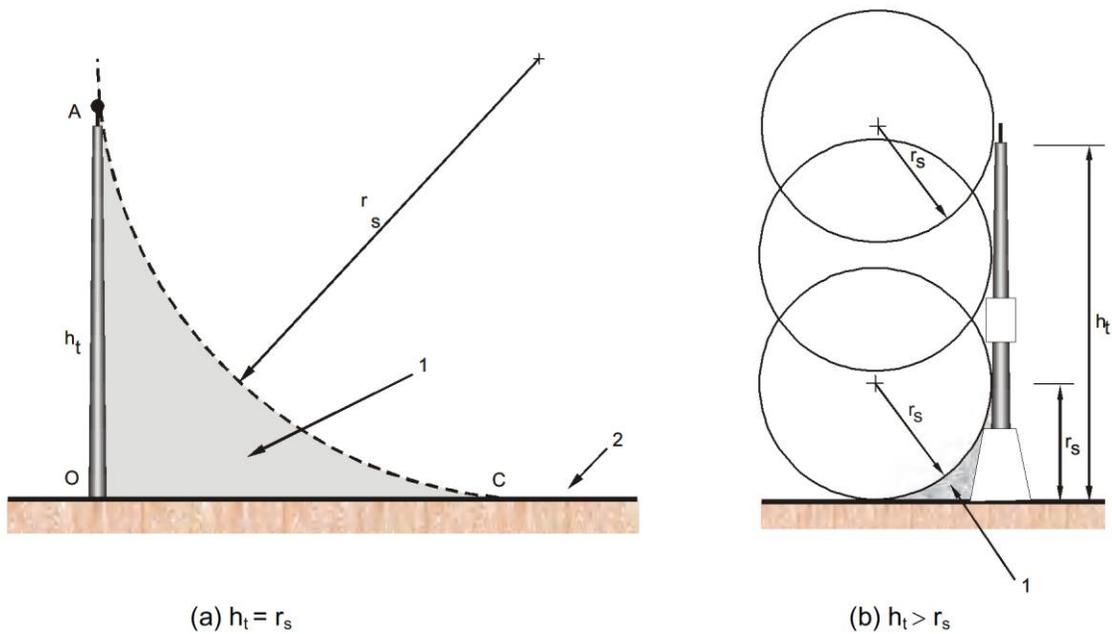
La altura de las terminales aéreas verticales de acuerdo con el nivel II de protección para el método de la esfera rodante es  $\leq 30$

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)
	$r_s$ (m)	$i$ (kA)	m
II	30	6	$\leq 30$

**Nota:** Esta corriente representa el valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.

La probabilidad de incidencia de rayos medidos en un cierto tiempo (ocurrencia), para 6 kA es de 90 %, además de estimar la eficiencia de un SEPTE de 95% para este nivel de protección.

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 ilustra a continuación:

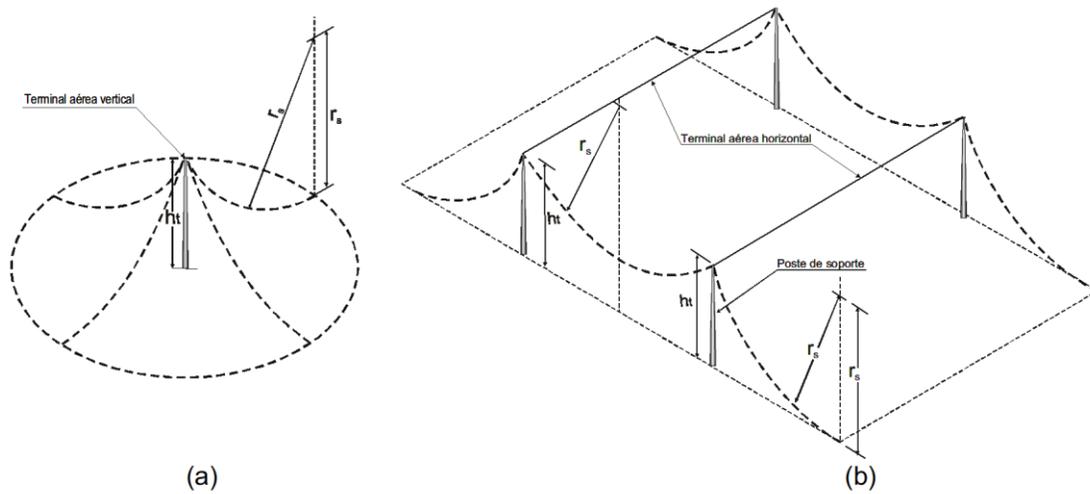


Descripción:

- 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  $h - r$  en la opción (b) no proporciona protección adicional.

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



r: radio de la esfera rodante.  
h: 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.

## 2.4 CONDUCTORES DE BAJADA

El número y ubicación de los conductores de bajada dependen del tipo de sistema de protección seleccionado, en este caso se maneja un sistema externo, no aislado.

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).

**Nota:** Los conductores de bajada deben cumplir con las especificaciones de materiales.

### 2.4.1 Requisitos.

En el diseño del SEPTTE, 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.

### 2.4.2 Conductores de bajada naturales

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

- a) Elementos metálicos estructurales (columnas y traveses) de la estructura.
- b) El acero de refuerzo de la estructura siempre y cuando cuente con uniones mecánicas o soldadas, excepto para elementos prefabricados que no garanticen la continuidad eléctrica entre sus partes.

### 2.4.3 Trayectorias de los conductores de bajada y radios de curvatura.

Las rutas ubicadas en zonas de tránsito de personas deben evitarse y para el caso en que la ruta indicada no pueda realizarse debe cumplirse la distancia mínima de seguridad.

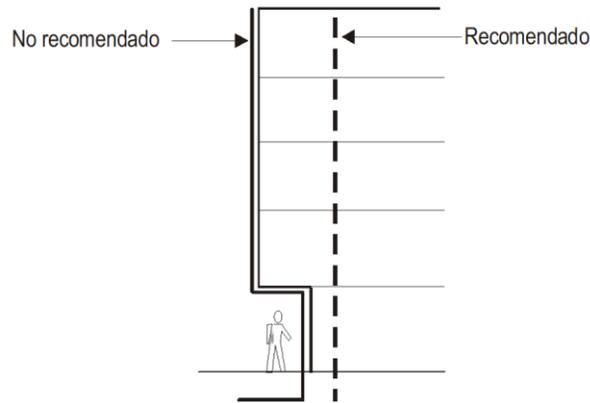
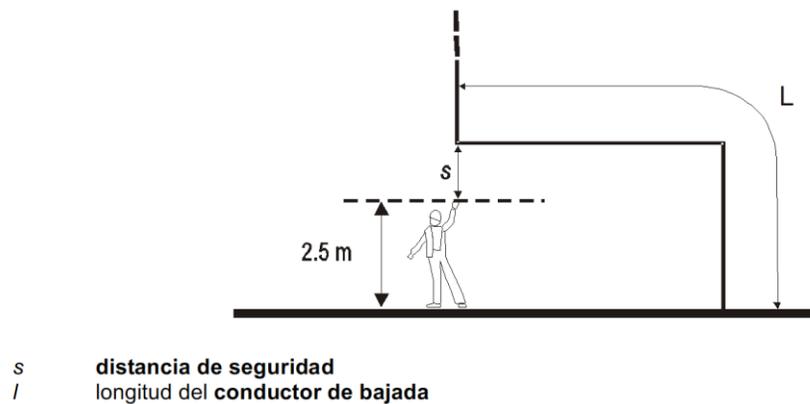


Figura 10.- Ruta recomendada para conductores de bajada en edificios con geometrías complejas como la indicada con tránsito de personas.



$s$  distancia de seguridad  
 $l$  longitud del conductor de bajada

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

Figura 10a.- 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.

El radio de curvatura del conductor de bajada en trayectorias verticales y horizontales debe ser mayor o igual a 200 mm. La figura 11 ilustra el tratamiento de los radios de curvatura del conductor de bajada. La figura 12 ilustra la trayectoria que debe seguir el conductor de bajada en marquesinas y pretilas. La separación  $d^2$  debe cumplir la distancia de seguridad.

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

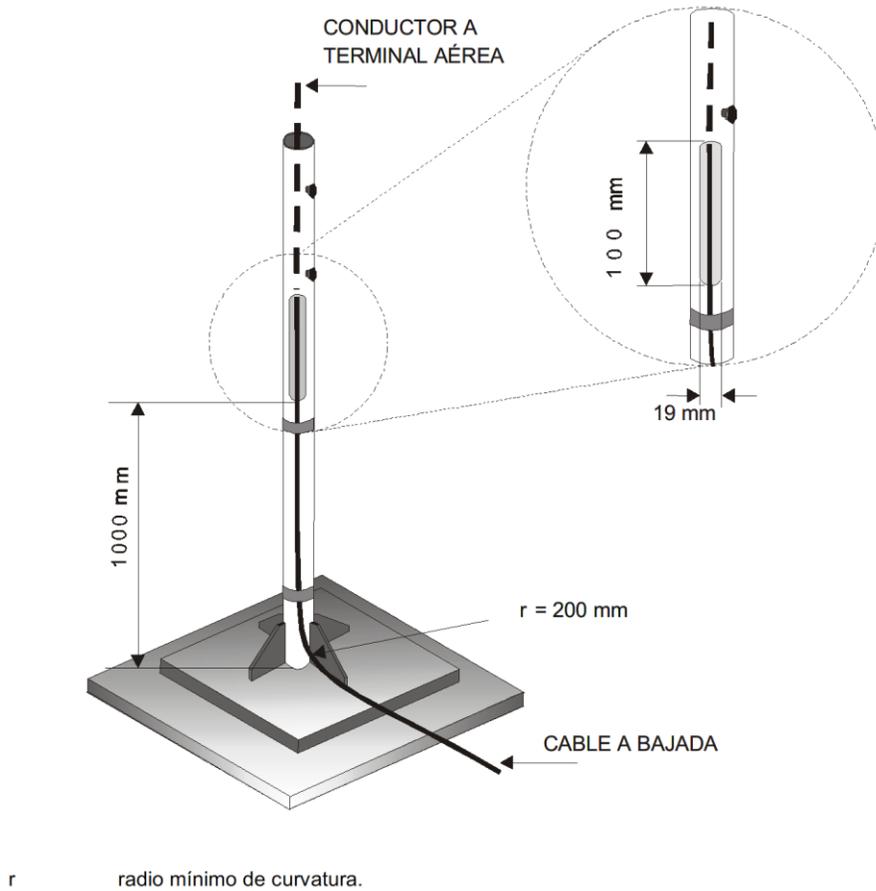
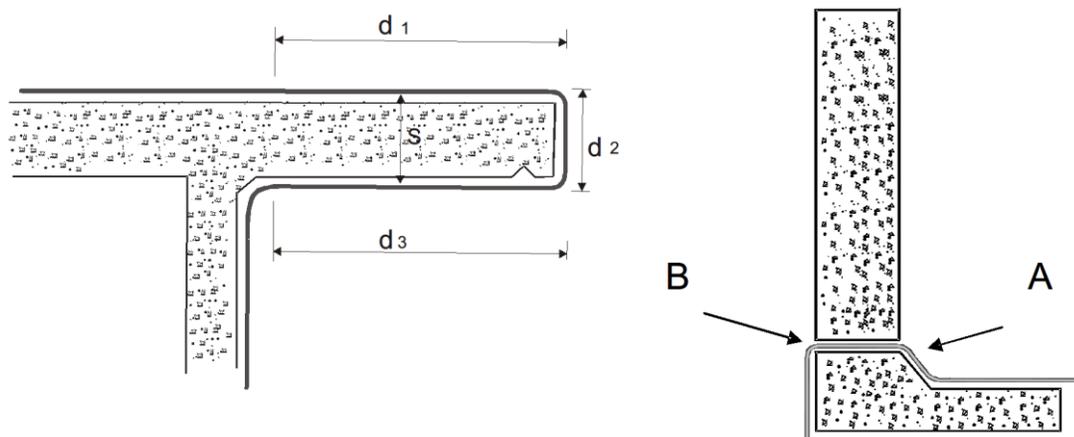


Figura 11.-Arreglo típico de un conductor de bajada cumpliendo con el radio de curvatura para un mástil soporte para terminal aérea.



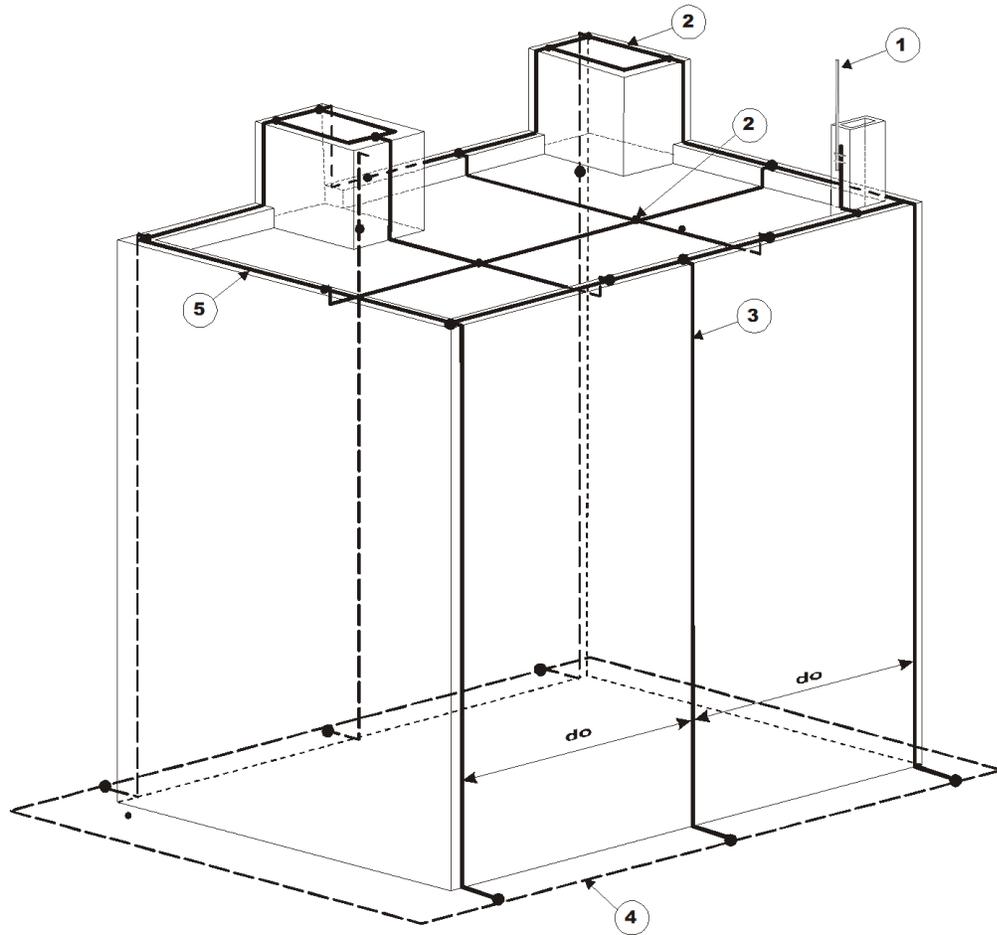
$$L = d_1 + d_2 + d_3.$$

Figura 12.- Trayectorias para los conductores de bajada del SEPTE en marquesinas y pretilas.

#### *2.4.4 Conductores de bajada para un sistema externo de protección 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 terminales aéreas horizontales, deben utilizarse dos o más conductores de bajada.
- c) Los conductores de bajada deben estar distribuidos a cada 15m. de acuerdo al nivel de protección. Los conductores de bajada deben estar ubicados cerca de cada una de las esquinas de la estructura, aplicando los criterios indicados en la sección de “conductores de bajada naturales”
- 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 2.3.2 incisos 2) y 3).



- 1.- Terminal aérea vertical
- 2.- Terminal aérea horizontal
- 3.- Conductor de bajada
- 4.- SPT
- 5.- 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 13.- 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 alturas en el techo y para un sistema no aislado de protección

La distancia de separación  $d_0$  de la figura anterior entre conductores de bajada debe ser a cada 15m, de acuerdo al nivel II recomendado para la protección de centros comerciales.

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

TABLA 13.- Dimensiones mínimas de los conductores de bajada.

Material	Conductor de bajada mm <sup>2</sup>
Acero	50
Cobre	16
Aluminio	25

#### 2.4.5 Distancia de seguridad.

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

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} I$$

$$d \geq s \quad (1-2)$$

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, para nivel II = 0.075;

$k_c$ : depende de la configuración dimensional, para cuatro bajantes = 0.66;

$k_m$ : depende del material de separación (aire o sólido), en este caso es 0.5; y

$I$ : es la longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m.

## 2.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT).

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 a tierra.

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 de la instalación externa (SEPTE, sistemas de energía eléctrica, sistemas de telecomunicaciones, entre otros). Véase unión equipotencial.

Con el fin de mantener la elevación de potencial del SPT a niveles seguros, se recomienda que el valor de la resistencia a tierra se mantenga en niveles no mayores que  $10 \Omega$ . 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

### 2.5.1 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 a tierra.
- c) cumplir con las especificaciones de materiales.
- d) sus componentes no deben tener elementos contaminantes al medio ambiente.
- e) los formados por varios elementos metálicos éstos deben estar unidos por medio de soldadura.

Los electrodos de puesta a tierra más comunes 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.

Los electrodos deben de cumplir con las siguientes especificaciones

TABLA 14.- Material y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de puesta a tierra

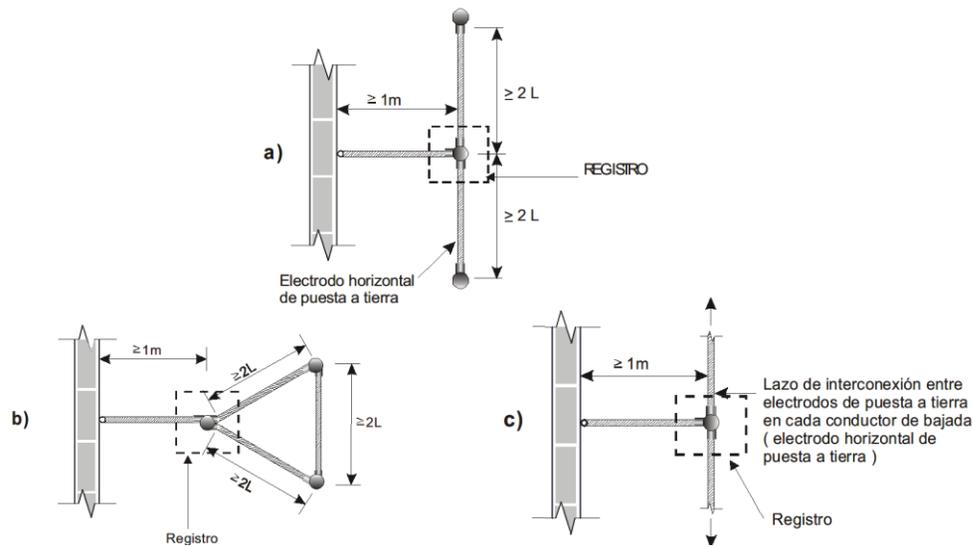
Material	Configuración y dimensiones nominales mínimas.	
Acero	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14,3 mm mínimo y 15,5 mm máximo. Espesor mínimo del recubrimiento 0 254 mm
<b>(1) Para el acero inoxidable tipo aleación 304.</b>		

### 2.5.2 Factores para el diseño e instalación del SPT.

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

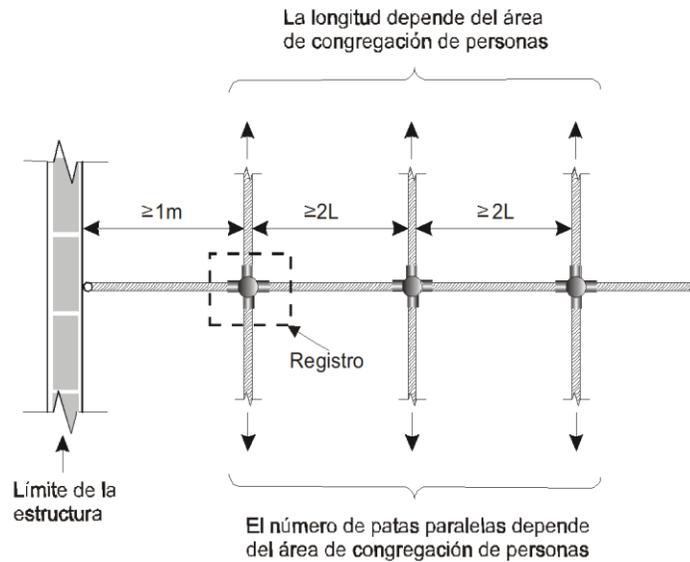
- a) el estudio del terreno, resistividad;
- b) el área disponible;
- c) los aspectos físicos, como obstrucciones, rocas y otros servicios o elementos enterrados; y
- d) la agresividad del suelo sobre los materiales del SPT (corrosión).

Los arreglos prácticos para el SPT que pueden utilizarse dependen del espacio disponible y de las características eléctricas del suelo. A continuación se ilustran algunos arreglos típicos que pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra conectados a los conductores de bajada.



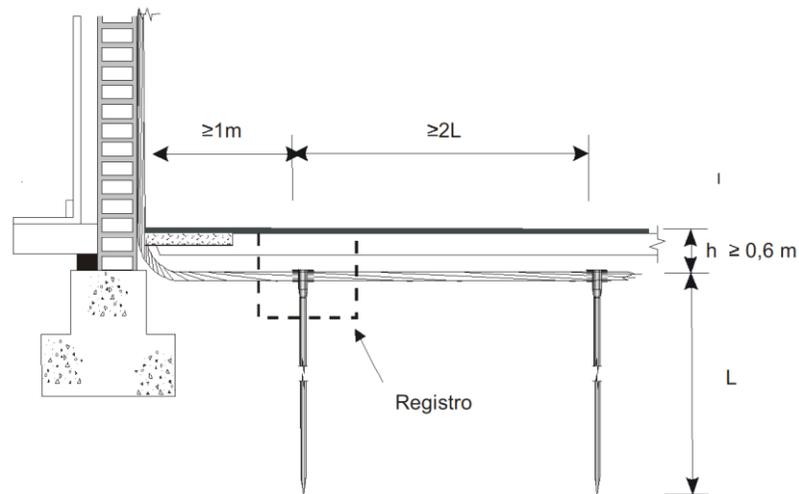
- a) arreglo de conductores horizontales y elementos verticales;
  - b) arreglo en triángulo equilátero con elementos verticales;
  - c) electrodo de puesta a tierra vertical interconectado a otros electrodos de puesta a tierra;
- L: longitud del electrodo de puesta a tierra vertical.

Figura 17.-Vista de planta de los arreglos típicos para formar el electrodo de puesta a tierra que conecta a cada conductor de bajada del SEPTE.



L longitud del electrodo de puesta a tierra vertical.

Figura 18.- Vista de planta del arreglo del SPT recomendado para áreas de congregación con tránsito de personas en caso de no poder instalar una capa superficial de alta resistividad.



h: altura

L: longitud del electrodo de puesta a tierra vertical

Figura 19.- Vista lateral de enterramiento de los electrodos de puesta a tierra verticales y horizontales

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

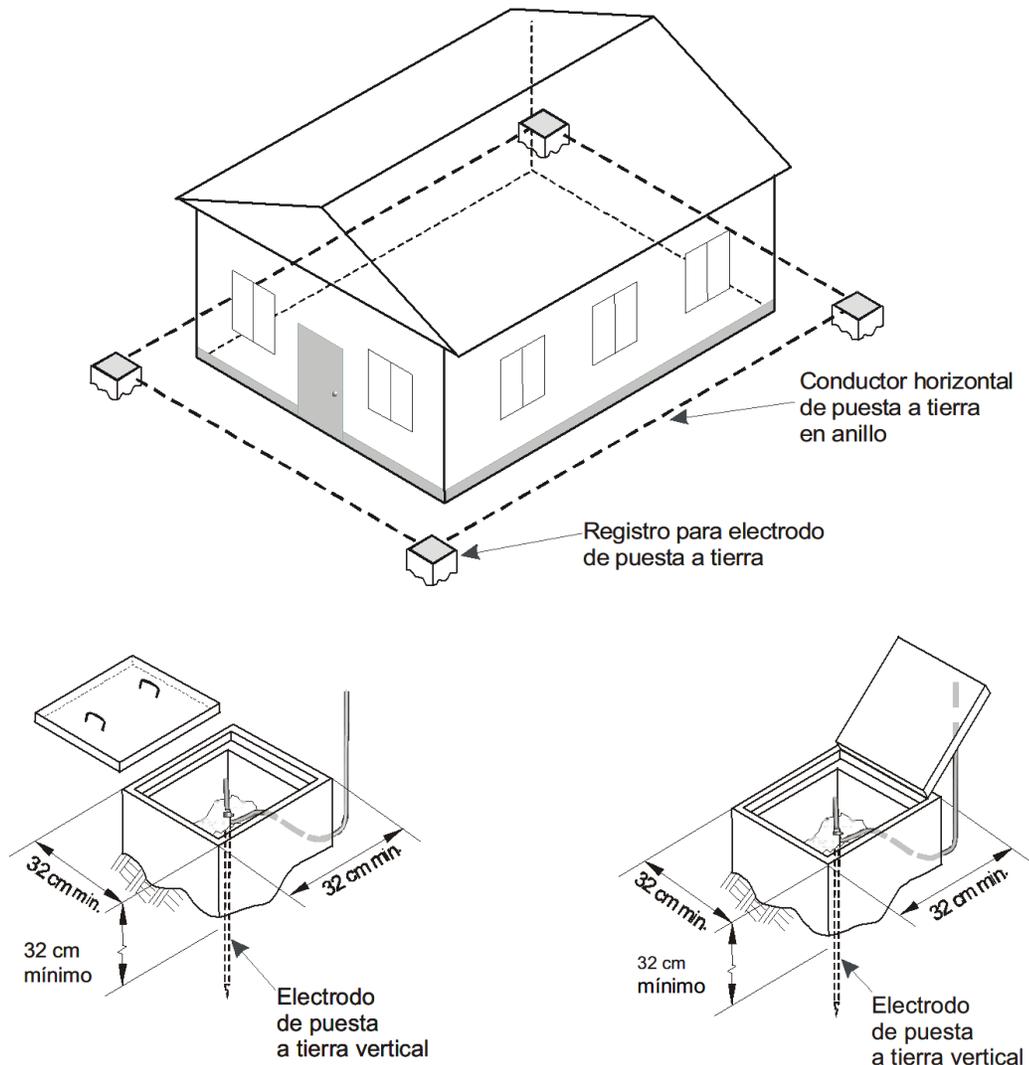
- a) la longitud de los electrodos de puesta a tierra verticales debe ser no menor que 2,40m.
- b) la distancia mínima de separación entre electrodos de puesta a tierra verticales debe ser el doble de su longitud.
- c) el punto de conexión sobre el nivel del suelo entre los conductores de bajada y los electrodos de puesta a tierra debe ser permanente por medio de un proceso de soldadura exotérmica.
- d) un registro debe instalarse por cada conductor de bajada para medición, comprobación y mantenimiento del SPT con las siguientes dimensiones mínimas de 32cm. x 32cm. x 32 cm. En caso de utilizar tubo, éste debe ser de un diámetro mínimo de 35cm. y 25cm. de longitud.
- 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.
- f) en la unión de los elementos del SPT debe tenerse especial cuidado para lograr una compatibilidad galvánica entre los materiales.
- g) los electrodos de puesta a tierra horizontales deben instalarse a una distancia de 1,0m o mayor que la estructura y a profundidades de 0,6m o mayores.
- h) el diseño del arreglo del SPT depende de la resistividad del suelo y de las limitaciones prácticas encontradas en el área de interés.
- i) los electrodos de puesta a tierra horizontales 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 perteneciente 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 un elevado tránsito de personas en terreno natural adyacente a la estructura, deben instalarse arreglos adicionales al SPT.
  - 1). si el área adyacente a la estructura está cubierta por una capa de asfalto o concreto de por lo menos 0,10m 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 interface tierra-aire de los electrodos de puesta a tierra debe protegerse contra la corrosión en el área debido a la reacción diferencial.

### *2.5.3 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 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 (SPT). La conexión entre ambos sistemas debe ser permanente. Los cimientos de edificios o estructuras pueden utilizarse como el sistema 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 a tierra de los electrodos 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 20.- 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.

#### 2.5.4 Resistencia a tierra

El valor de la resistencia en el diseño del arreglo del SPT debe ser menor o igual a  $10 \Omega$ . 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 a tierra del SPT antes de la conexión con los sistemas existentes debe ser menor o igual a  $10 \Omega$ .

Nota: Antes de diseñar el SPT debe obtenerse la resistividad del suelo.

La resistencia a tierra obtenida en el diseño siempre debe comprobarse por medio de mediciones en campo, aplicando la metodología del diagrama de flujo siguiente:

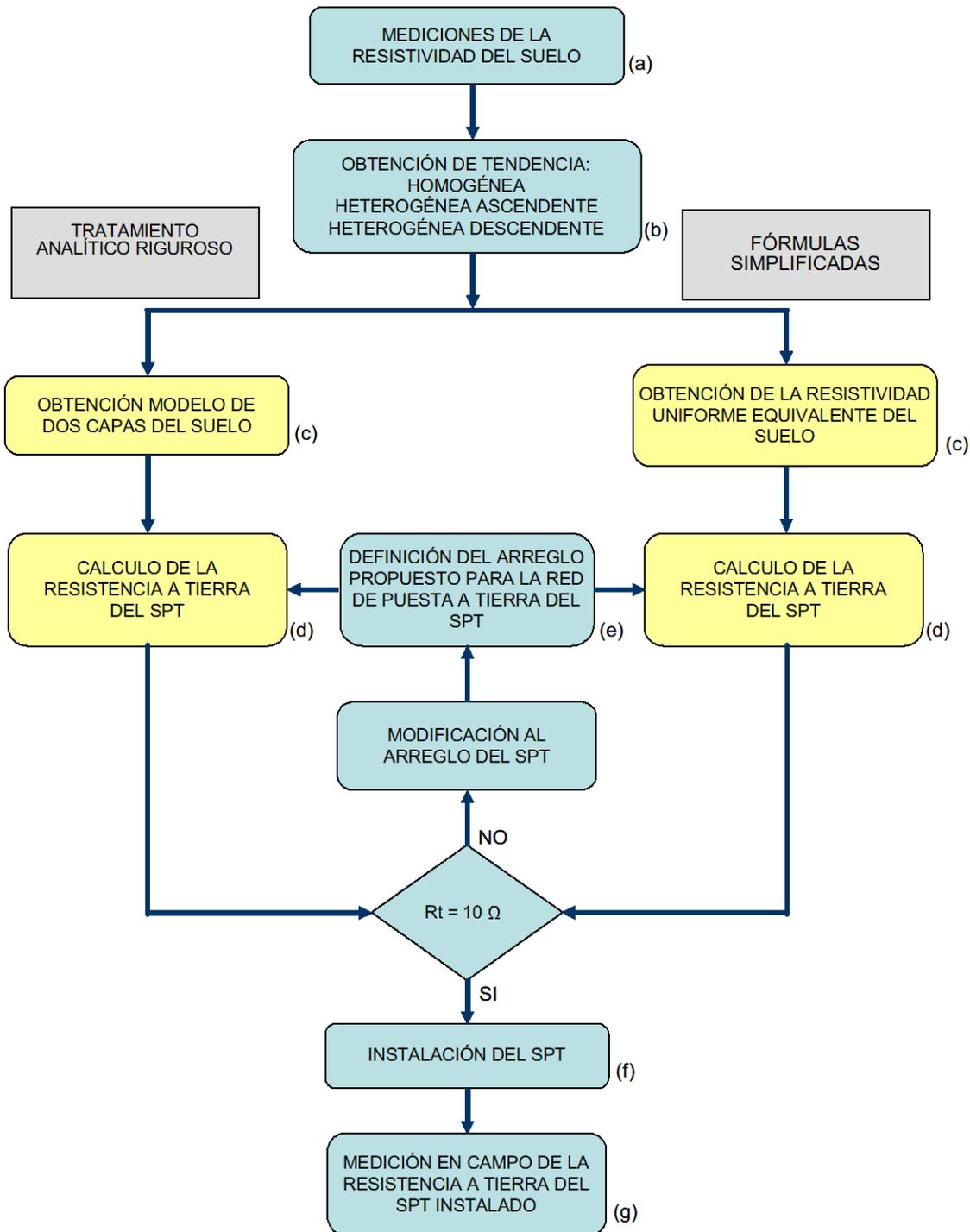


Figura 21.- Metodología para la resistividad del suelo

### 2.5.5 Electrodo de puesta a tierra en suelos de alta resistividad.

Cuando el suelo es rocoso, resulta muy difícil y costoso obtener valores bajos de resistencia a tierra mediante un SPT, 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 de puesta a tierra horizontales y verticales 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 cercanas 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 de puesta a tierra profundos para los casos en que sea imperativo obtener un valor de resistencia a tierra menor que  $10 \Omega$ .

### 2.5.6 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) Instalarse los avisos necesarios de precaución 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 0,6m.

- d) Instalar un arreglo del SPT como el indicado en la figura 18, o proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de personas a través de una capa de concreto de 0,10m como mínimo o una capa de grava triturada intermedia de 0,10m como mínimo entre el terreno natural y los elementos enterrados del sistema de puesta a tierra.

## 2.6 UNIÓN EQUIPOTENCIAL A NIVEL EXTERNO.

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 SEPTE, 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 (barra de unión), debe realizarse una conexión entre dicho punto y la red del SPT de la instalación.

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

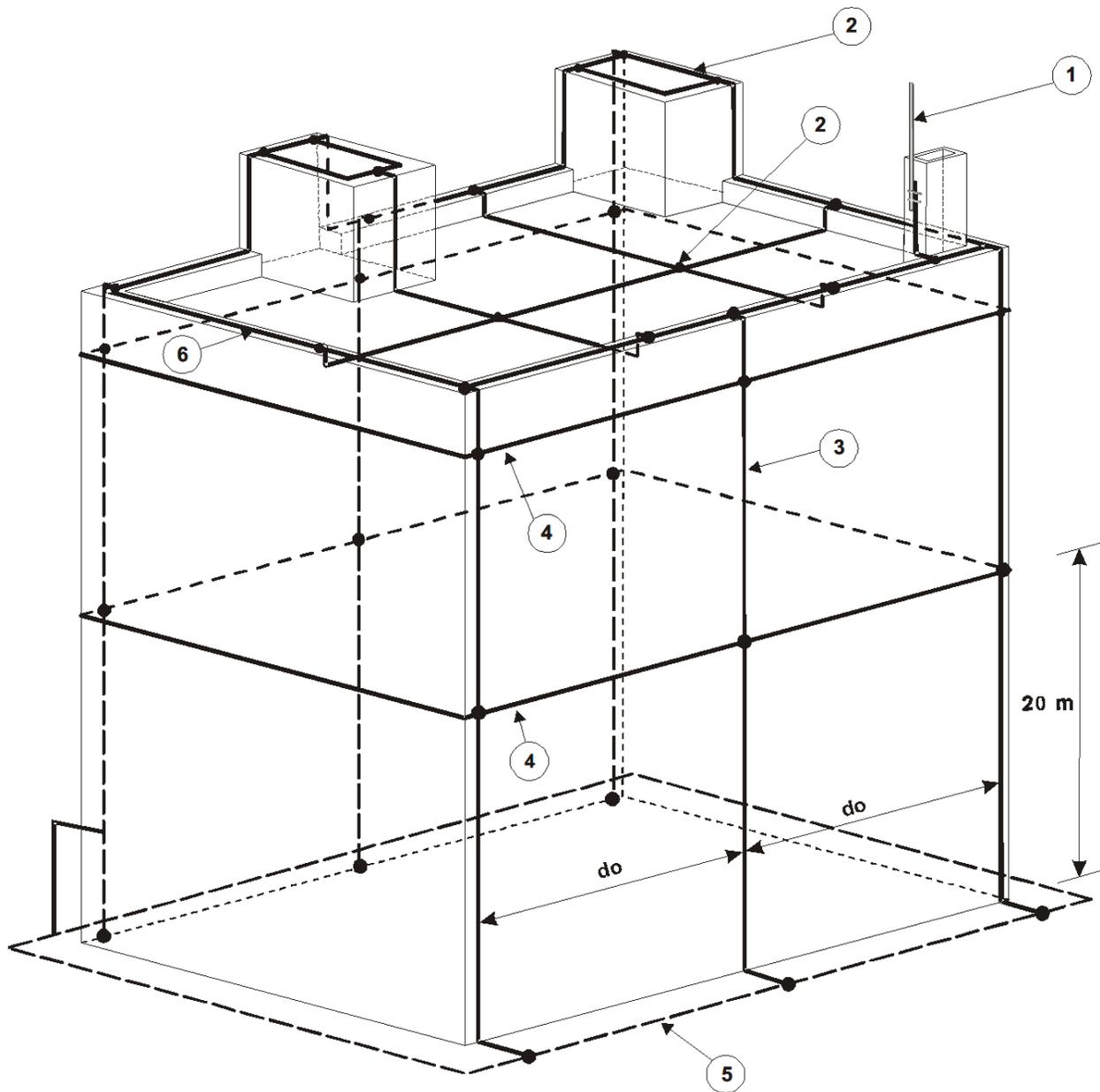
- a) **Conductores de unión.** Los conductores se utilizan para interconectar dos partes metálicas. La longitud de estos conductores de unión debe ser lo más corta posible y la sección transversal debe cumplir con los valores indicados en la sección de materiales.
- b) **Barras de unión.** Las barras 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. En aplicación de fuerza deben ser sin aisladores.

TABLA 15.- Dimensiones mínimas para las barras de unión.

Material	Configuración, ancho y espesor	Características específicas.
Cobre	Placa sólida Ancho x espesor 200 mm. X 6,35 mm.	Cobre electrolítico a 99.9% de pureza.

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

1. 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 SEPTE en el nivel del techo deben interconectarse al acero de refuerzo de la instalación.



1 Terminal aérea

2 Terminal aérea horizontal (solera galvanizada o de aluminio).

3 Conductor de bajada

4 Conductor de anillo equipotencial

5 SPT

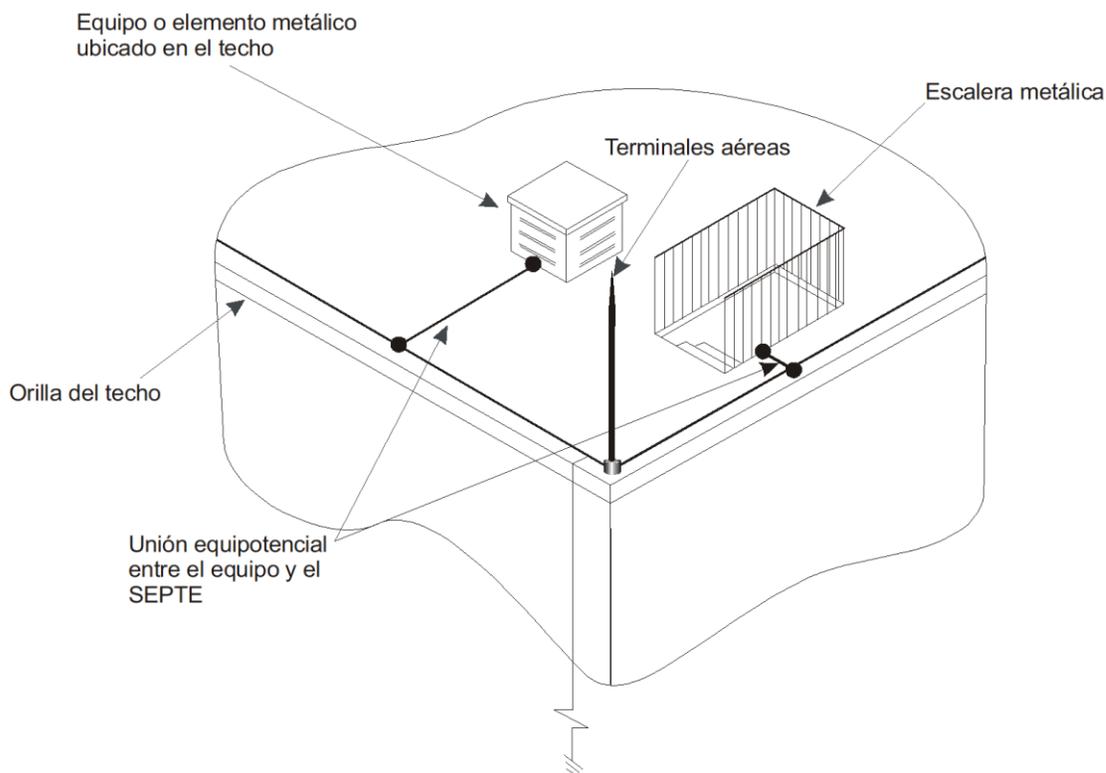
6 Conexión de terminales aéreas y conductores de bajada a nivel de techo.

Figura 22.- 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.

Cuando las partes metálicas de la estructura (vigas y traveses 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 traveses 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 SEPTTE utilizando la trayectoria más corta posible. En los lugares en donde estas partes o elementos metálicos tengan una trayectoria paralela a los conductores de bajada o columna de la estructura, deben interconectarse en cada extremo y a un intervalo promedio de 10m 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 26.- Ejemplo ilustrativo de la UE en la parte externa a nivel del techo para un SEPTTE 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, tabla roca) y se tiene instalado un SEPTE, debe comprobarse que se cumpla la distancia indicada en 2.5.6 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.

#### *2.6.1 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.

Estos elementos deben asegurar la rigidez mecánica de las partes del SEPTE y deben ser cualquiera de las siguientes:

- 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).

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

Los elementos de fijación deben ser compatibles con los elementos del SEPTE, así como una alta conductividad, durabilidad y resistentes a la corrosión, la composición del suelo o agua y/o contaminantes y el contacto con metales o aleaciones que genere corrosión por efecto galvánico. La velocidad de corrosión de los metales varía según el tipo de material utilizado y de la naturaleza del

ambiente. Los factores como la concentración del electrolito, existencia de oxígeno y temperatura, afectan la velocidad de corrosión.

La importancia de seleccionar los materiales adecuados depende del:

- Lugar donde se instalara el SEPTTE ya que no es lo mismo escoger materiales para zonas donde existe un alto nivel de salinidad y/o humedad, como es el caso de zonas costeras donde la corrosión juega un papel muy importante, que en lugares donde el ambiente es cálido.
- La correcta combinación de los mismos, ya que se puede combinar: acero inoxidable con cobre pero nunca acero galvanizado con cobre (conexiones directas), esto por el efecto galvánico.

## **CAPITULO 3.- APLICACIÓN DEL DISEÑO DE UN SEPTE.**

## **CAPITULO 3.- APLICACIÓN DEL DISEÑO DE UN SEPTE (Memoria técnica).**

### **3.1 Generalidades.**

Este capítulo contiene la metodología y los criterios de protección para interceptar las descargas atmosféricas que eventualmente incidan en una plaza comercial\*, con base en la NMX-J-549-ANCE-2005.

Los pasos a seguir en la metodología de protección son los siguientes:

- a) Inspección del techo de la plaza comercial mediante planos arquitectónicos de construcción y levantamiento de datos.
- b) Identificación del tipo de material del techo de la plaza comercial.
- c) Identificación de posibles elementos naturales de intercepción.
- d) Análisis de riesgo tomando en cuenta el entorno.
- e) Determinación de la necesidad (análisis de riesgo) de aplicar un SEPTE.
- f) Aplicación del criterio de la esfera rodante para determinar la ubicación y altura de las terminales aéreas.

\* Esta aplicación es real y por motivos de ética profesional, se reserva a mencionar el nombre de la plaza comercial, la cual se tomo como base para realizar dicha memoria técnica.

### **3.2.- VALORACIÓN DE RIESGO (Criterios de diseño).**

#### **3.2.1.- Reducción de riesgo.**

El sistema de protección externo, cumple con lo establecido en la NMX, donde establece que

“Un sistema de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE) diseñado e instalado con las especificaciones indicadas en esta Norma Mexicana, reduce el riesgo de daño que puede provocar un rayo”.

La reducción de riesgo está basada en la aplicación de los niveles de protección.

#### **3.2.2.- Niveles de Protección**

Para el caso de la plaza comercial, se tienen las siguientes características:

1. Barda perimetral hecha de paneles de resina (TRESPA), que puede utilizarse como elemento de impacto mediante una solera metálica.
2. Techumbre central en azotea de lámina de acero de 12 m de altura sobre el nivel de azotea.
3. Desnivel despreciable de techumbre central y demás techumbres, por lo que se consideran de techo plano para análisis de la protección.
4. Ventilación de subestaciones de 8.4m de altura sobre nivel de azotea
5. Pequeños domos a proteger sobre la techumbre central.

Lo anterior significa que el techo metálico de la instalación central sobre la azotea puede protegerse considerando techo plano, con un nivel de protección que considere el doble del radio de la esfera rodante indicada en la NMX, es decir, 120 metros.

Asimismo, las áreas entre los techos metálicos y la barda perimetral se protegerán considerando una esfera rodante de 60 m.

### **3.3.- ANÁLISIS DE RIESGO.**

La NMX indica el criterio de análisis para establecer la necesidad de instalar terminales aéreas de intercepción. Esta necesidad está basada en la probabilidad de que la plaza comercial tenga una incidencia directa de rayo superior a un valor establecido por la propia NMX.

La Tabla 1 de la NMX establece los siguientes parámetros para una estructura como la plaza comercial tomada como ejemplo:

Frecuencia Media Anual Permitida de Rayo Directo  $N_d=0,02$

Periodicidad permitida de *1 rayo cada 50 años*.

Lo anterior significa que si la periodicidad de incidencia de rayo directo es menor que 1 rayo cada 50 años, debe instalarse un arreglo de terminales aéreas de intercepción. En caso contrario, el arreglo de terminales aéreas es opcional.

La sección 4.2 de la NMX establece la formulación para la estimación de la **frecuencia esperada  $N_o$  de impacto directo a la estructura**, o en otras palabras, el número de rayos que con una base probabilística puede incidir sobre la Plaza comercial en un periodo determinado de tiempo.

$$N_o = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ por año}$$

$N_g$  es la densidad de rayos a tierra anual promedio por  $\text{km}^2$  de la región donde se ubica la plaza comercial.

$A_e$  es el área equivalente de captura de la estructura, en  $\text{m}^2$ .

De la siguiente figura se toma el valor  $N_g$ , para el cálculo del factor de frecuencia de impacto directo a la estructura.

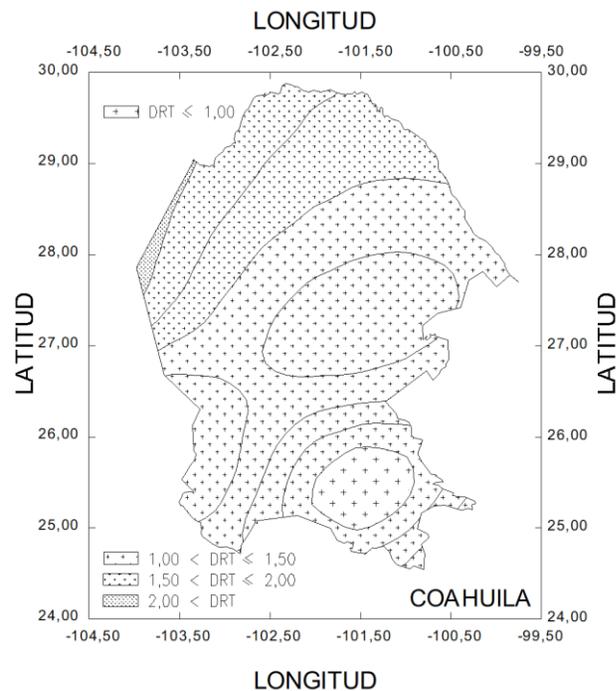


Figura 43.- Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra del estado de Coahuila Saltillo, (localizado en el noreste de México).

### 3.3.1.- Área equivalente de captura

La plaza comercial tiene cuatro colindancias: una pequeña colindancia con la tienda de autoservicio y el resto al estacionamiento. El criterio para definir el área equivalente de captura fue el siguiente:

(a) Se consideró que la Plaza comercial se encuentra es una instalación aislada, es decir, se desprecia el pequeño blindaje proporcionado por la tienda de autoservicio.

(b) Las líneas de contorno del área equivalente de captura siguen la geometría de la plaza comercial.

De acuerdo con el criterio de la NMX, el área equivalente de captura total se calcula tomando la proyección sobre cada colindancia de la altura de la línea perimetral de la plaza comercial.

La figura 44 muestra el área equivalente de captura total de la plaza comercial, considerando el corte A-A´ “estacionamiento-estacionamiento”.

La figura 45 muestra el área equivalente de captura total de la tienda, considerando el corte B-B´ “estacionamiento - estacionamiento”. En este corte se desprecia la influencia de la tienda de autoservicio adyacente a la plaza comercial.

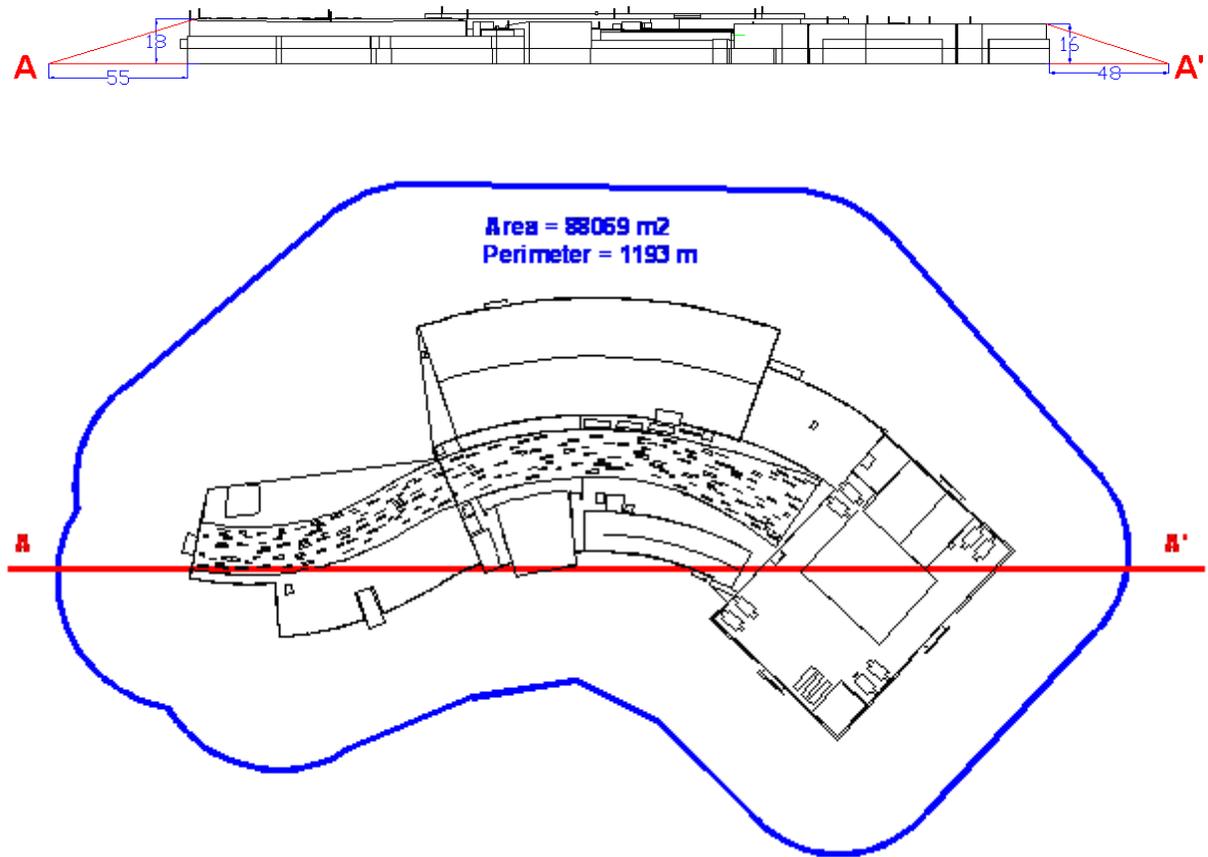


Figura 44. Área de colección total de la plaza comercial y corte “estacionamiento-estacionamiento”

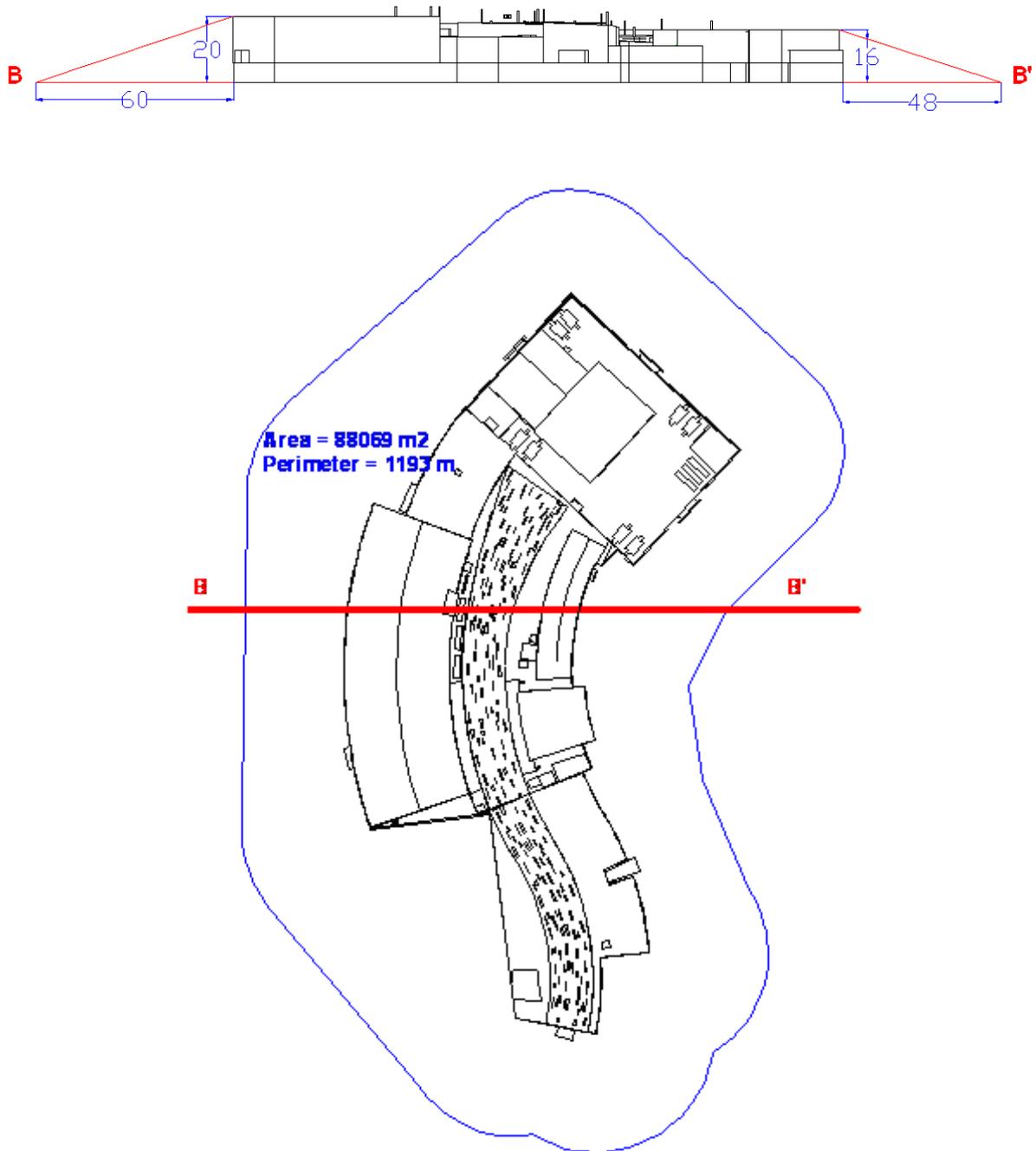


Figura 45. Área de colección total de la plaza comercial y corte “estacionamiento - estacionamiento”, despreciando la influencia de la tienda de autoservicio.

Con las líneas limítrofes de captura estimadas en las figuras 44 y 45, se calculó por medio de un paquete gráfico el área total equivalente de captura para la plaza comercial.

Área total de captura: 88,069 m<sup>2</sup>

### 3.4.- NIVEL DE RIESGO

Sustituyendo el valor del área total de 88069 m<sup>2</sup> en la ecuación para encontrar  $N_o$ , y tomando el valor de  $N_g=1.5 \text{ rayos/km}^2/\text{año}$  de acuerdo a la severidad de las tormentas en la zona indicado en la figura 43, se obtiene el valor de la frecuencia de impacto  $N_d$ .

$$N_o = (1.5) \cdot (88069) \cdot 10^{-6} = 0.1321 \text{ por año}$$

Por lo tanto, con base en la naturaleza probabilística y estocástica del rayo, a las dimensiones de la plaza comercial y a la severidad de las tormentas en la región,

La plaza comercial está sujeta a 0.132 descargas por año, es decir, una descarga cada  $6.6 \approx 7$  años aproximadamente.

Este resultado, de acuerdo al criterio de aceptar una descarga cada 50 años indicado en la tabla 1 de la NMX, implica que la instalación de un sistema externo de protección con base en terminales aéreas de intercepción es una necesidad para garantizar una disminución considerable del riesgo de daño ante la eventualidad del impacto de una descarga en el techo de la plaza comercial.

### 3.5.- TERMINALES AÉREAS DE INTERCEPCIÓN.

La sección 4.3 de la NMX define el diseño del sistema externo de protección SEPTE con base en terminales aéreas de intercepción.

La sección 4.3.1 de la NMX indica el criterio para la selección de la altura y ubicación de las terminales aéreas de intercepción, con base en el método de la esfera rodante, con la cual se define, a partir de una terminal pivote, el número y posición de las terminales aéreas de intercepción en un edificio para lograr la protección buscada. El método establece “rodar una esfera imaginaria con radio equivalente al último paso de la descarga o rayo, cuyo valor depende de la carga espacial a ser neutralizada”. El radio  $r_e$  de la esfera imaginaria está determinado por la siguiente expresión:

$$r_e = 9.4 \cdot I^{2/3} (A)$$

Donde  $I$  es la intensidad de la corriente de rayo a partir del cual el sistema de protección teóricamente cumple su función de blindaje.

### 3.6.- ZONAS DE PROTECCIÓN

Las zonas de protección en el techo de la Plaza Comercial, tanto en la instalación central de la azotea como en los equipos ubicados entre la instalación central y la barda perimetral se definen tomando en consideración lo siguiente:

- 1.- Las techumbres metálicas en la azotea están libres de equipos e instalaciones sobre su superficie.
- 2.- Las techumbres metálicas de una o dos aguas tienen una pendiente suave (mucho mayor que 1/8).

- 3.- Los equipos sobre la azotea se encuentran entre la instalación central y la barda perimetral, y su altura es menor que la altura de la barda perimetral.
- 4.- La barda perimetral puede utilizarse como punto de impacto

Lo anterior indica que las techumbres metálicas de una o dos aguas de la instalación central pueden considerarse bajo el criterio de techo plano. Esto permite, de acuerdo a criterios internacionales, utilizar un radio de la esfera rodante dos veces al valor mayor que el máximo indicado en la NMX, es decir, un radio de 120 m. Este valor implica, de acuerdo a la ecuación (1.4), que el blindaje contra rayo directo estará diseñado para corrientes mayores o iguales que 45 kA, cuya probabilidad de ocurrencia es alrededor del 75%.

Debido a la ubicación de los equipos en la azotea (entre la techumbre metálica central con techo de un agua y la barda perimetral) y sus características físicas y de espesor, es posible utilizar un radio de la esfera rodante de 60m, con un nivel de protección II, de acuerdo con la NMX.

Finalmente, la barda perimetral puede utilizarse como punto de impacto para la descarga atmosférica, siempre y cuando esté provisto de una solera metálica unida equipotencialmente a todo el sistema de protección contra tormentas eléctricas ubicado en la azotea de la tienda, con blindaje para corrientes mayores o iguales que 15 kA.

### 3.7.- TERMINALES AÉREAS: UBICACIÓN Y ALTURA

La figura 46 muestra la ubicación de las terminales aéreas de intercepción sobre la azotea de la plaza comercial, la tabla 16 muestra la altura de las terminales aéreas y su altura con respecto al nivel de referencia Nivel de Azotea Terminada (NAT) de las terminales aéreas.

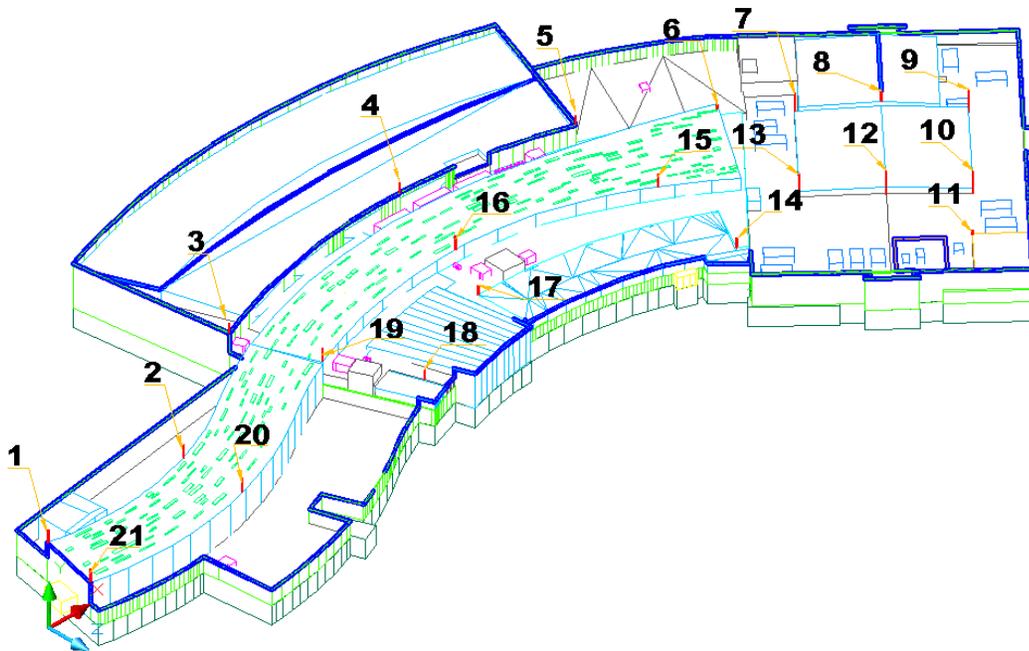


Figura 46. Ubicación e identificación de las terminales aéreas de intercepción de acuerdo con el método de la esfera rodante

NOTAS:

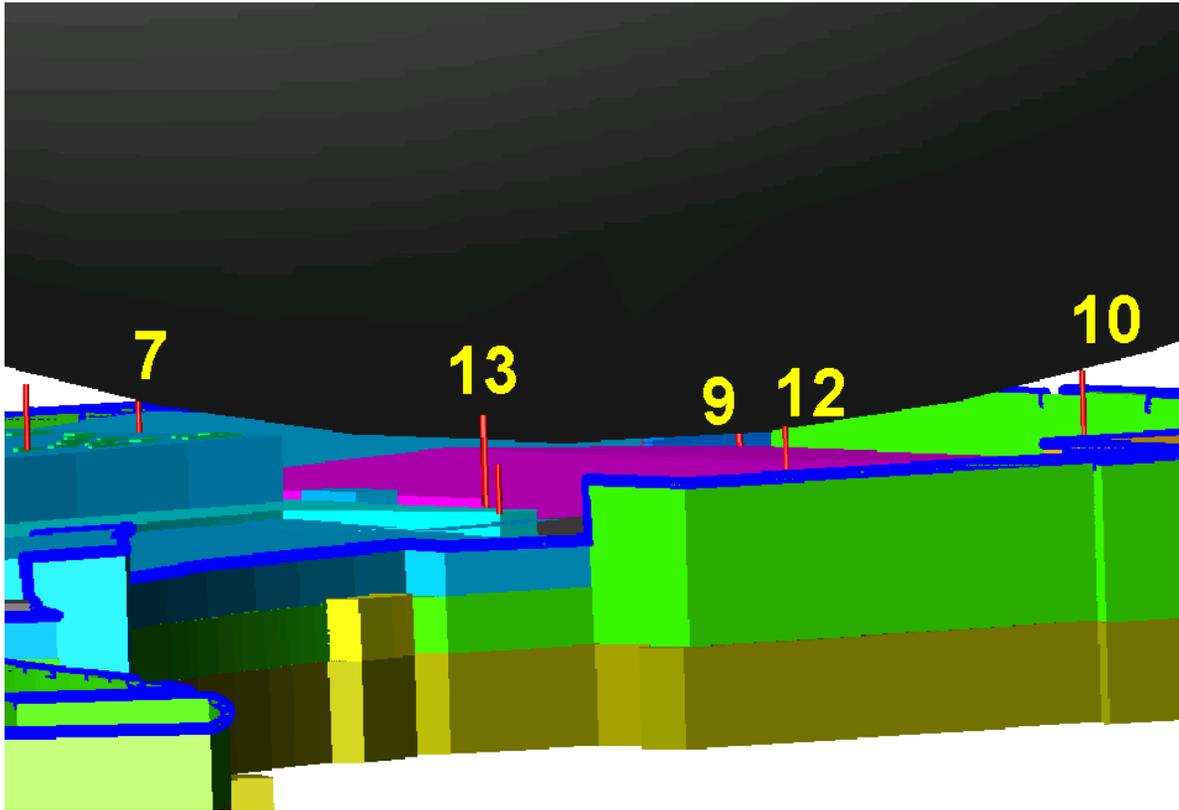
Se debe instalar una solera, al centro de toda la periferia del muro (pretiles de fachada), como se muestra en la figura 3 mediante la línea en color azul.

Tabla 16  
Altura de terminales aéreas de intercepción

Numero de punta	Altura de mástil (m)	Sobre nivel de referencia 0+00 (m)	Altura sobre NAT (m)
1	4	11.4	15.4
2	4	11.4	15.4
3	3	14	17
4	3	14	17
5	3	14	17
6	1	11.4	12.4
7	7	5.7	12.7
8	3	9.8	12.8
9	7	5.7	12.7
10	7	5.7	12.7
11	1	8.85	9.85
12	7	5.7	12.7
13	7	5.7	12.7
14	3	7.9	10.9
15	4	11.4	15.4
16	4	11.4	15.4
17	3	7.9	10.9
18	3	7.9	10.9
19	4	11.4	15.4
20	4	11.4	15.4
21	4	11.4	15.4

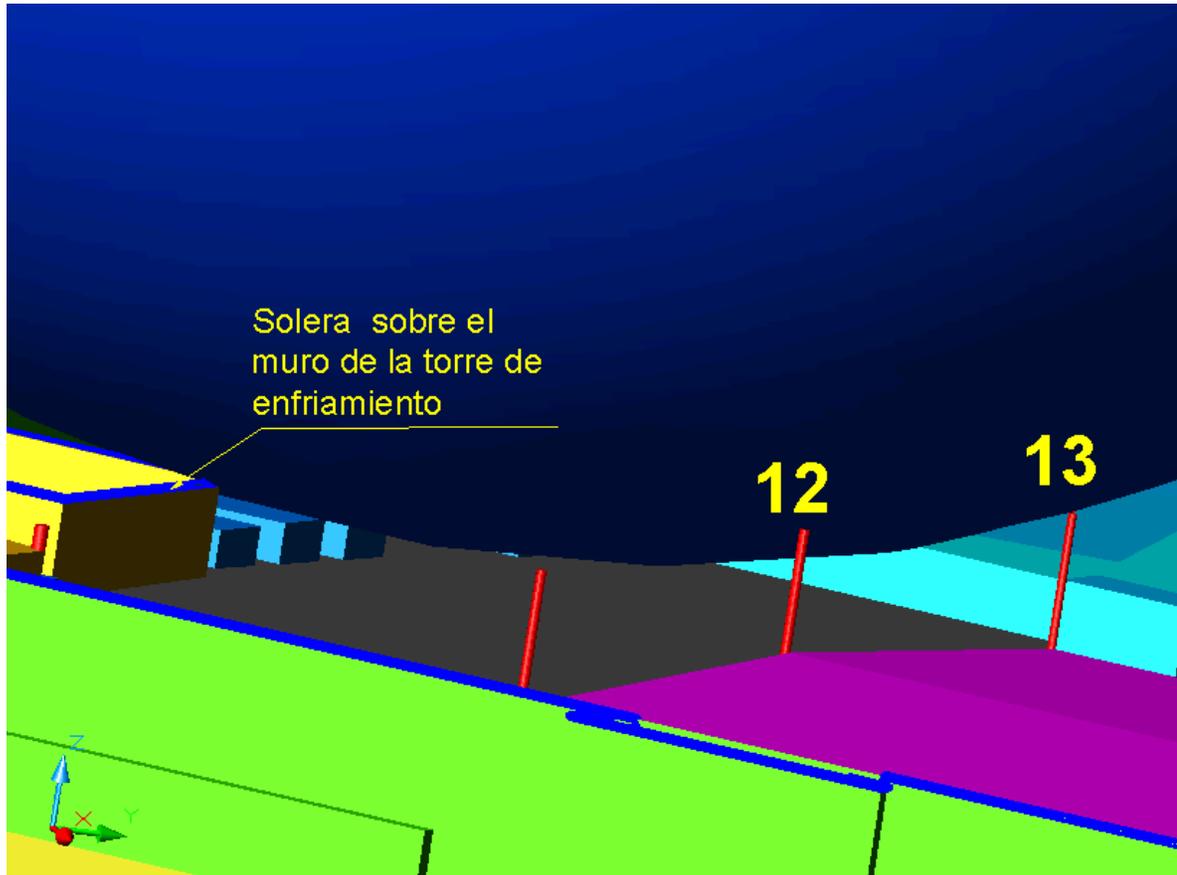
### 3.8.- RODAMIENTO DE LAS ESFERAS DE PROTECCIÓN

La figura 47 muestra esquemáticamente el rodamiento de la esfera rodante con radio de 120 m. sobre las terminales aéreas 7, 9, 10, 12 y 13.



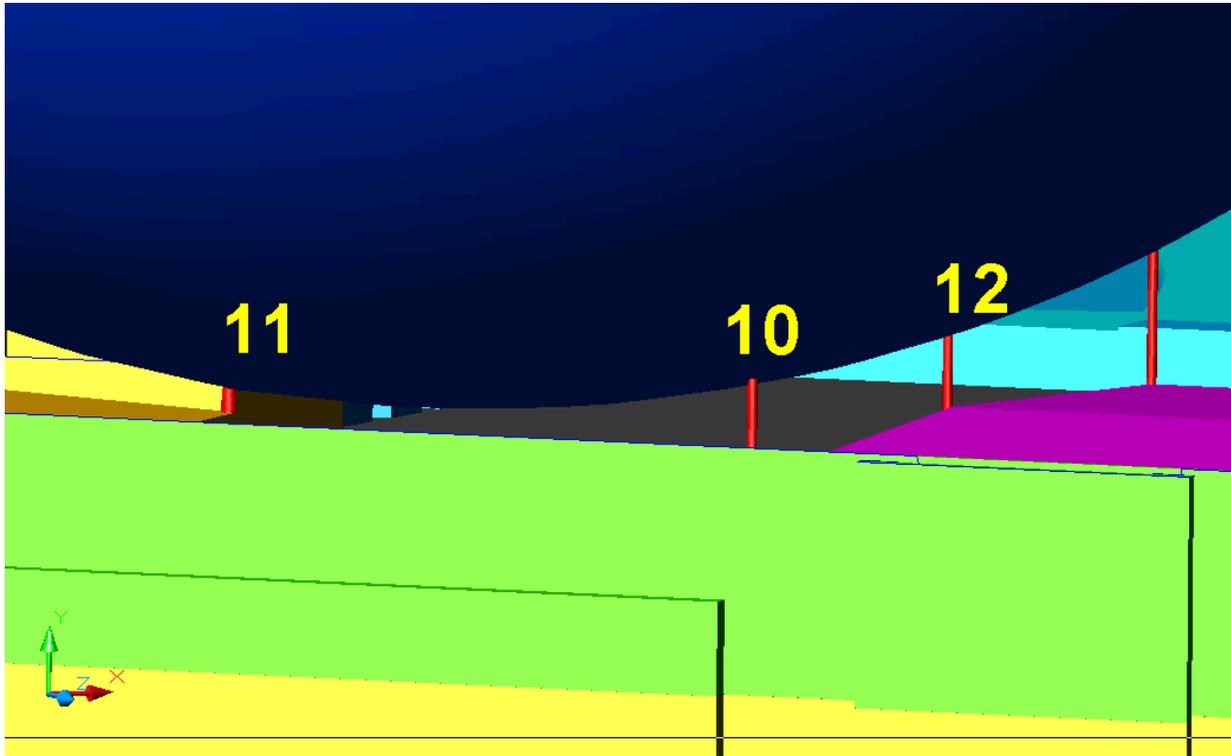
*Figura 47. Vista superior del rodamiento de la esfera de protección para la plaza comercial, para un radio de 120 m sobre las terminales aéreas 7, 9, 10, 12 y 13.*

La protección entre la techumbre de la tienda y la torre de enfriamiento para una esfera rodante con radio de 60 m y las terminales aéreas 12, 13 y la solera sobre el muro de la torre de enfriamiento, se muestra en la figura 48.



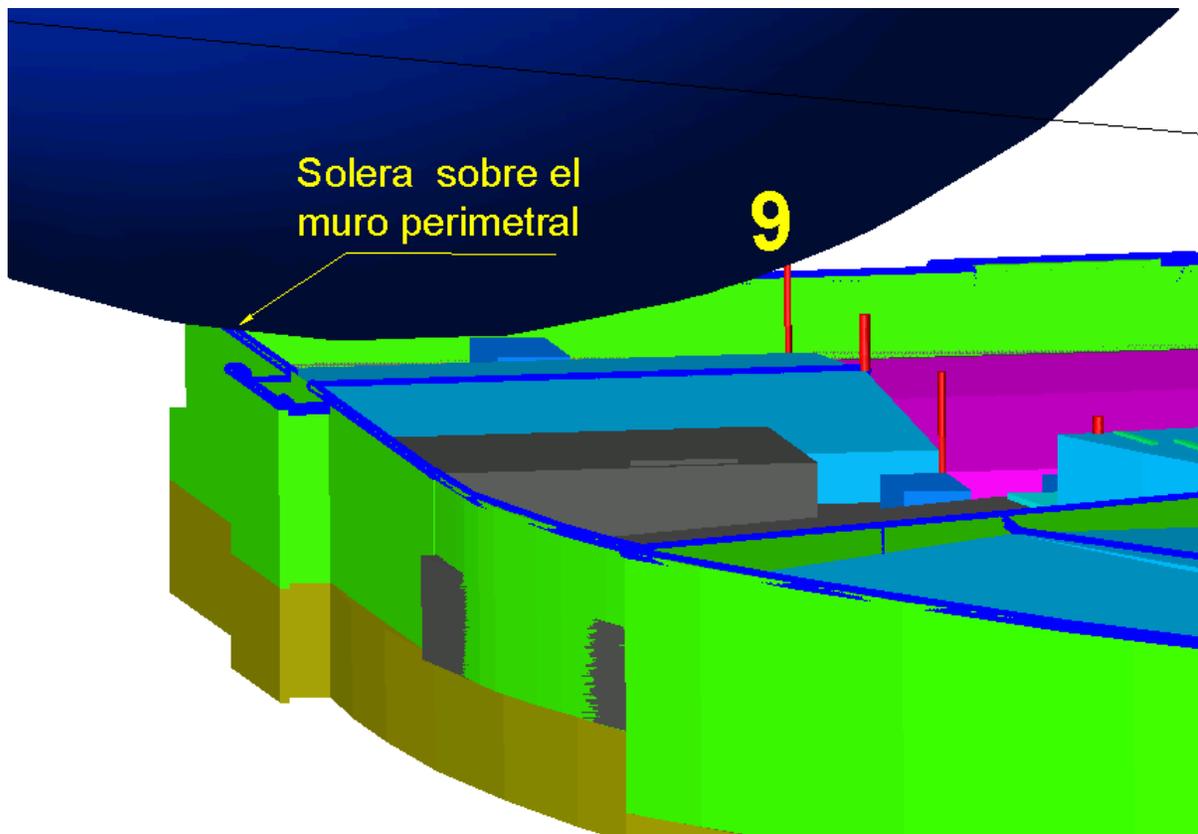
*Figura 48. Protección con las terminales aéreas 12, 13 y solera sobre el muro de la torre de enfriamiento, para una esfera rodante con radio de 60 m.*

La protección entre la techumbre de la tienda y la torre de enfriamiento para una esfera rodante con radio de 60 m y las terminales aéreas 10, 11, 12 y la solera sobre el muro de la torre de enfriamiento, se muestra en la figura 49.



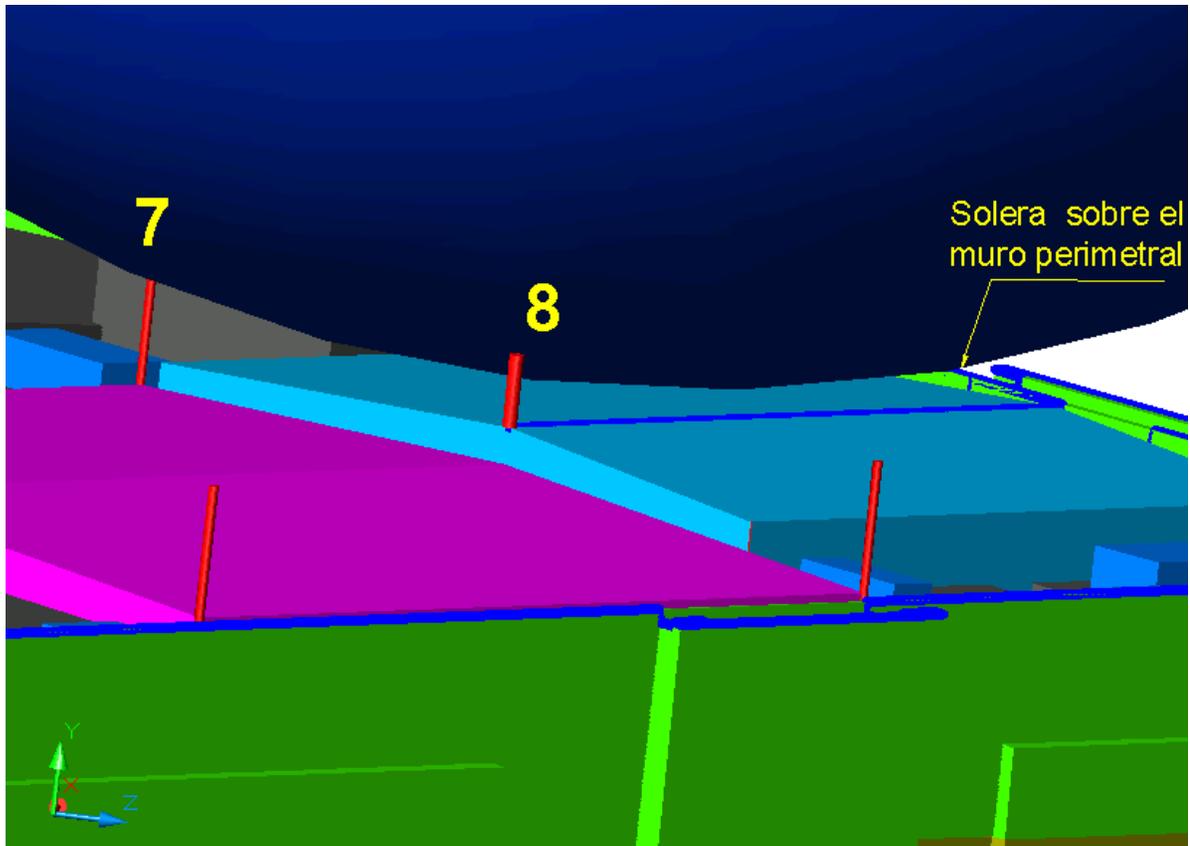
*Figura 49. Protección con las terminales aéreas 10, 11, 12 y solera sobre el muro de la torre de enfriamiento, para una esfera rodante con radio de 60 m.*

La protección entre la techumbre de la tienda y la barda perimetral para una esfera rodante con radio de 60 m y las terminales aéreas 9 y la solera sobre la barda perimetral, se muestra en la figura 50.



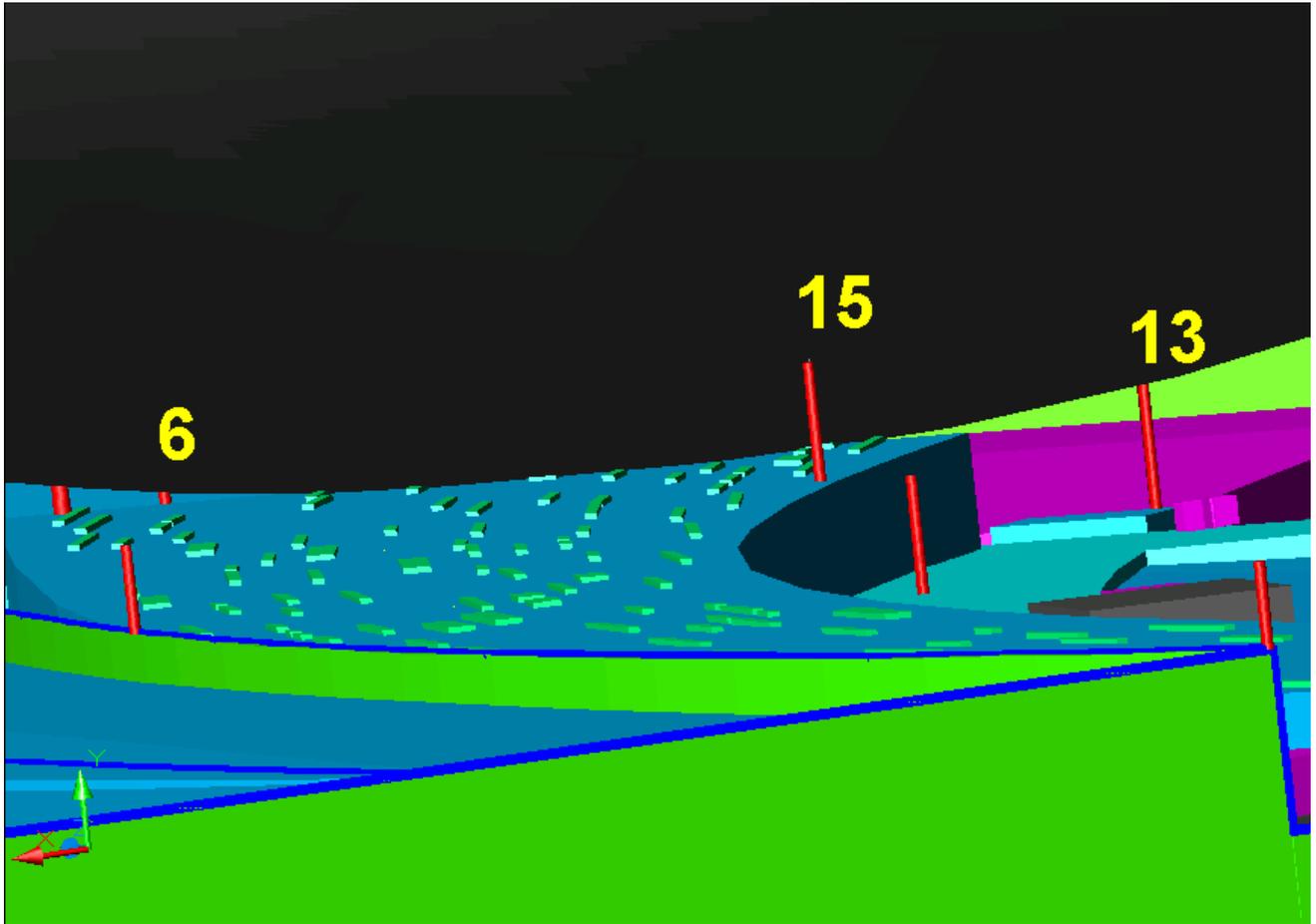
*Figura 50. Protección con las terminales aéreas 9 y solera sobre la barda perimetral, para una esfera rodante con radio de 60 m.*

La protección sobre la techumbre de la bodega, montacargas y la barda perimetral para una esfera rodante con radio de 60 m y las terminales aéreas 7, 8 y la solera sobre la barda perimetral, se muestra en la figura 51.



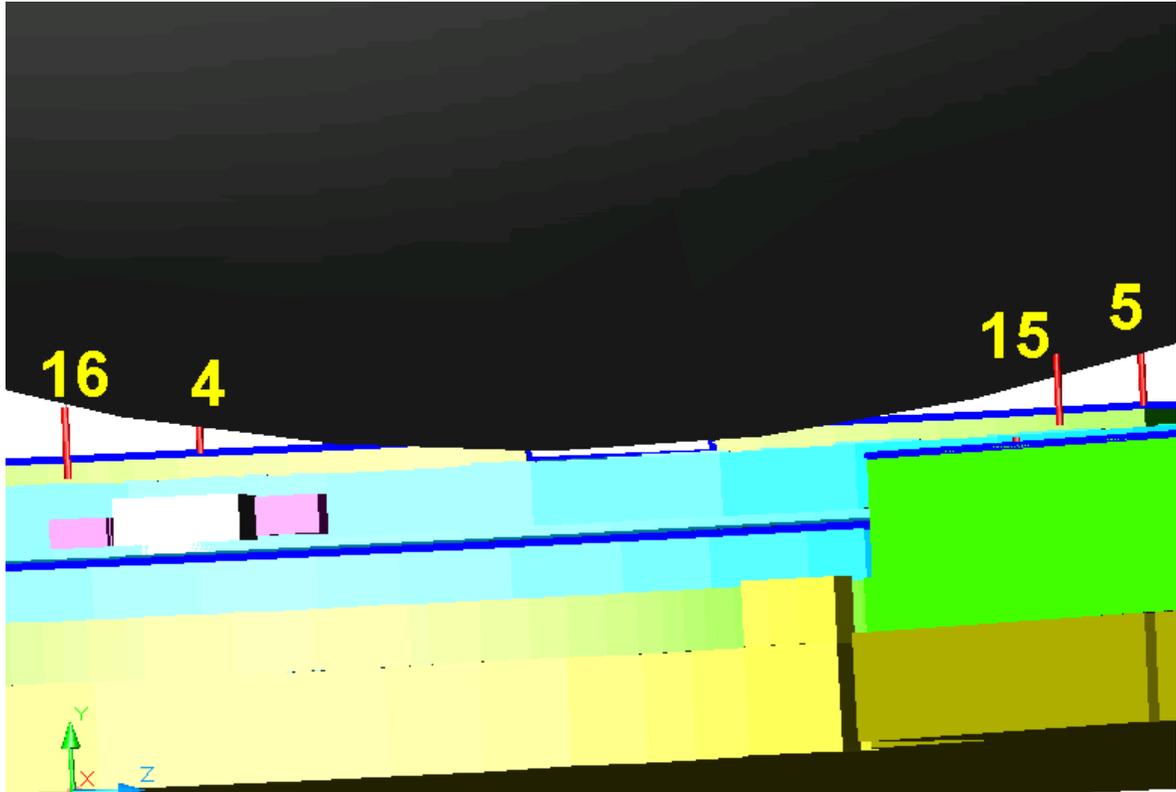
*Figura 51. Protección con las terminales aéreas 7, 8 y solera sobre la barda perimetral, para una esfera rodante con radio de 60 m.*

La protección del techo inclinado de la techumbre central se indica en la figura 52, considerando las terminales aéreas 6, 13 y 15. Pareciera que el contorno de la esfera toca los domos de la techumbre, pero esto se debe sólo a un efecto visual.



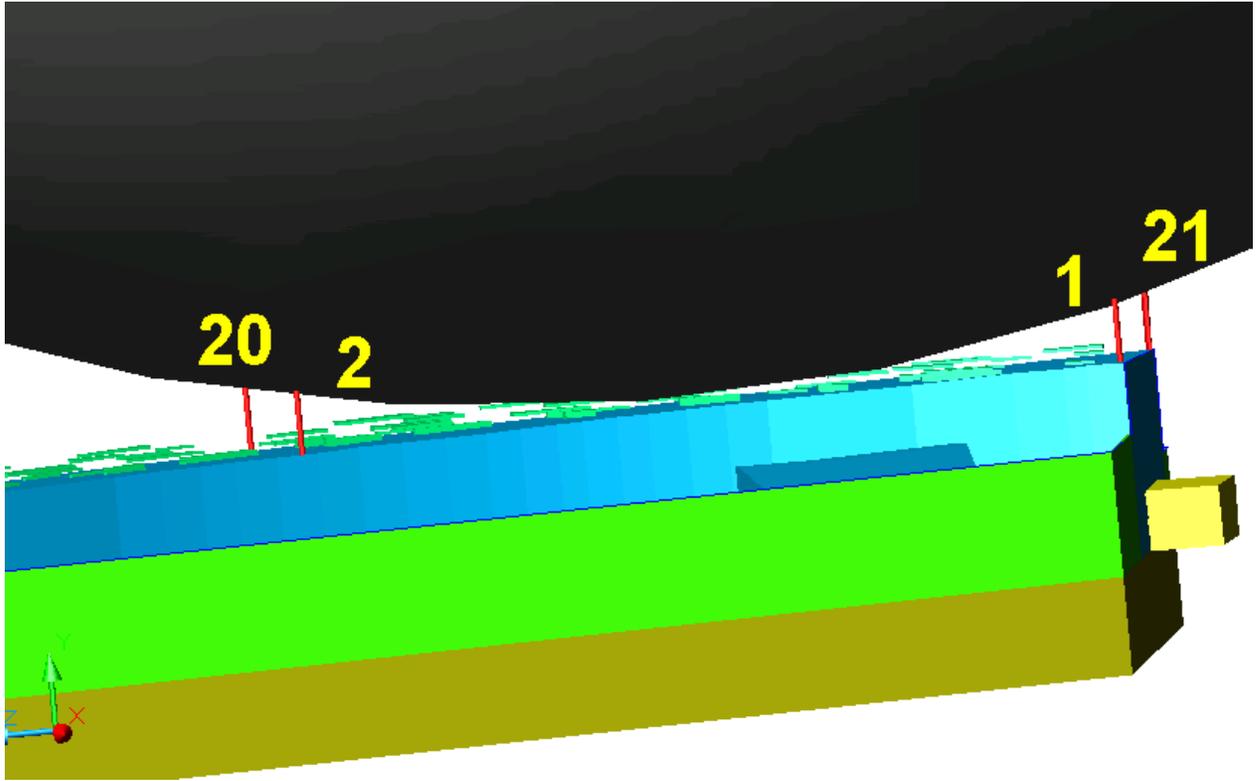
*Figura 52. Protección de la techumbre central con las terminales aéreas 6, 13 y 15, para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección entre las dos techumbres metálicas de la Plaza comercial se indica en la figura 53, considerando las terminales aéreas 4, 5, 15 y 16.



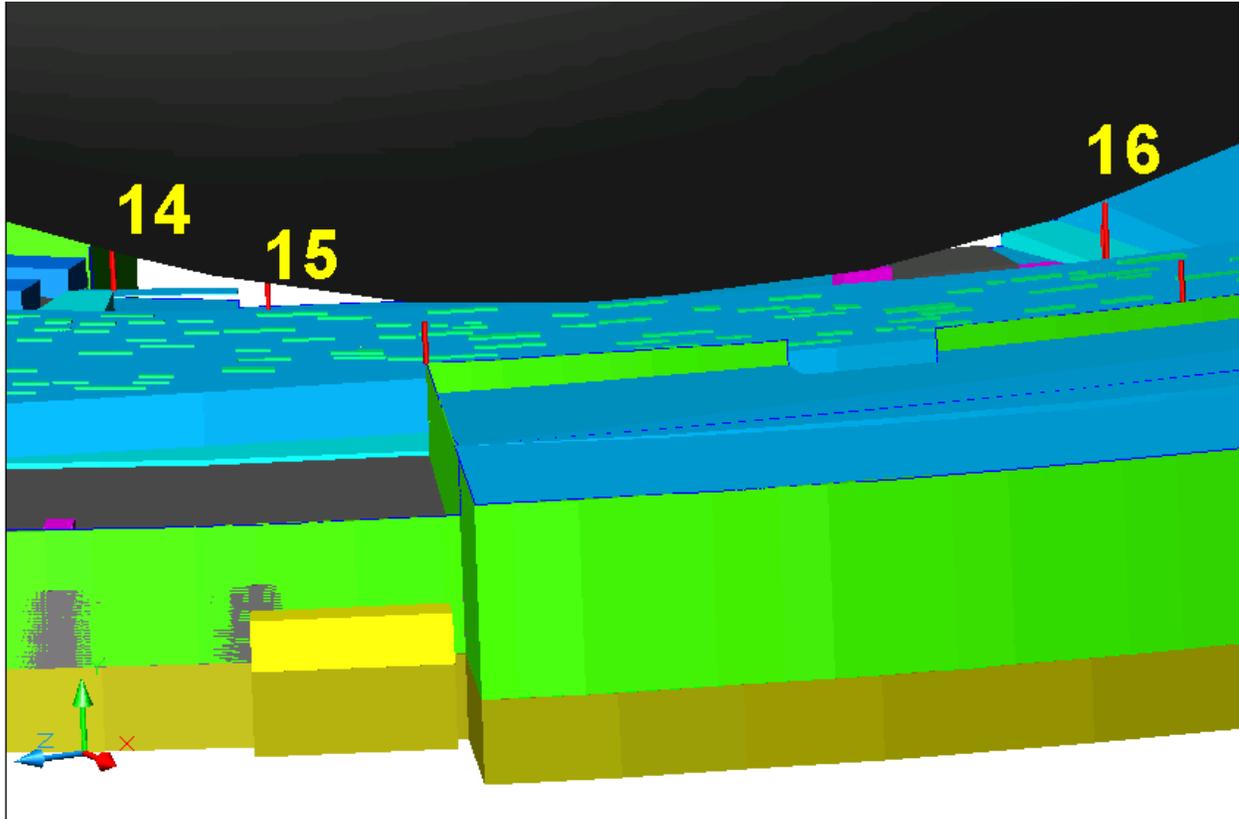
*Figura 53. Protección de las dos techumbres metálicas de la plaza comercial con las terminales aéreas 4, 5, 15 y 16, para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección en la techumbre central de la plaza comercial se indica en la figura 54, considerando las terminales aéreas 1, 2, 20 y 21.



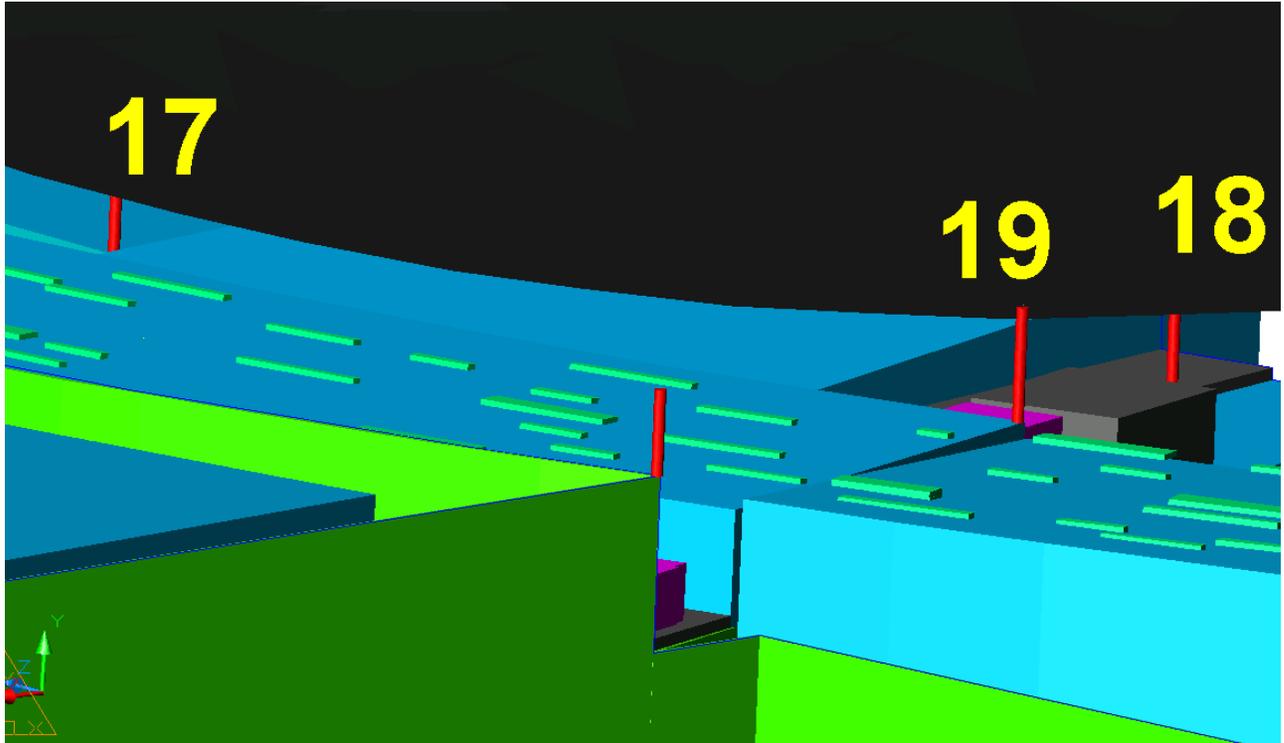
*Figura 54. Protección de techumbre central de la plaza comercial con las terminales aéreas 1, 2, 20, y 21 para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección en la techumbre central de la plaza comercial se indica en la figura 55, considerando las terminales aéreas 14, 15 y 16.



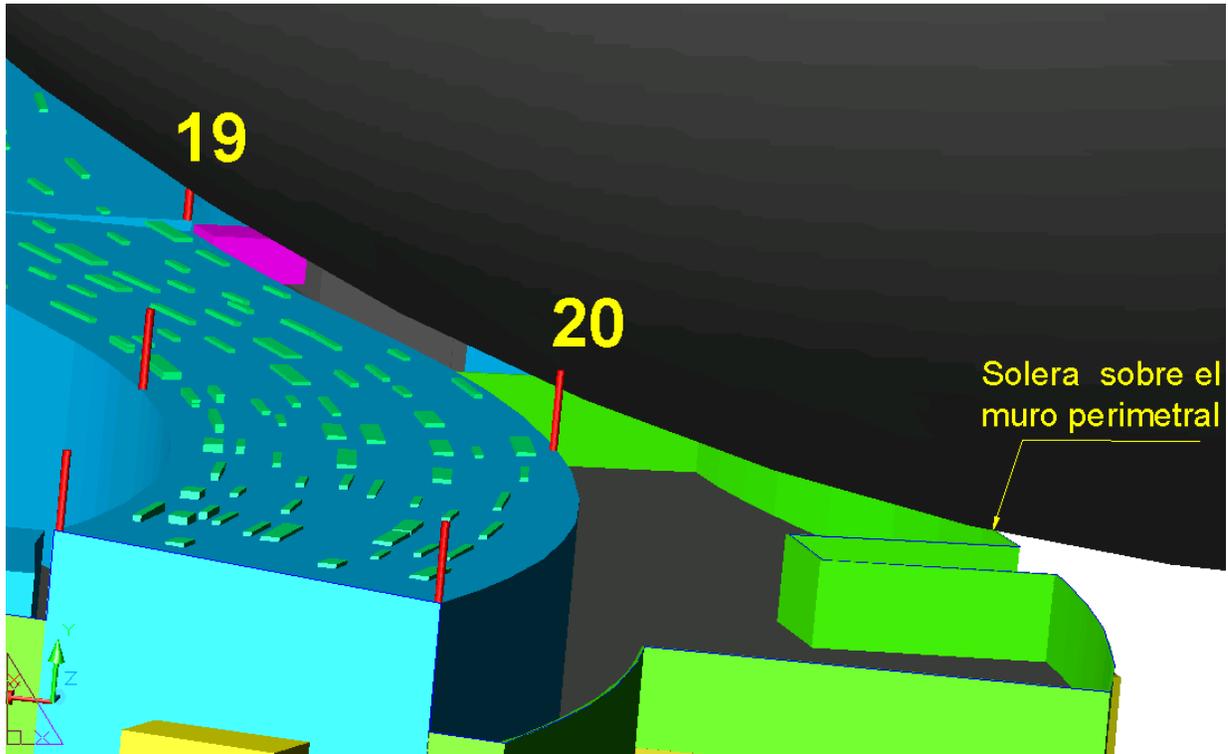
*Figura 55. Protección de techumbre central de la plaza comercial con las terminales aéreas 14, 15 y 16 para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección en la techumbre metálica del área de comensales se indica en la figura 56, considerando las terminales aéreas 17, 18 y 19.



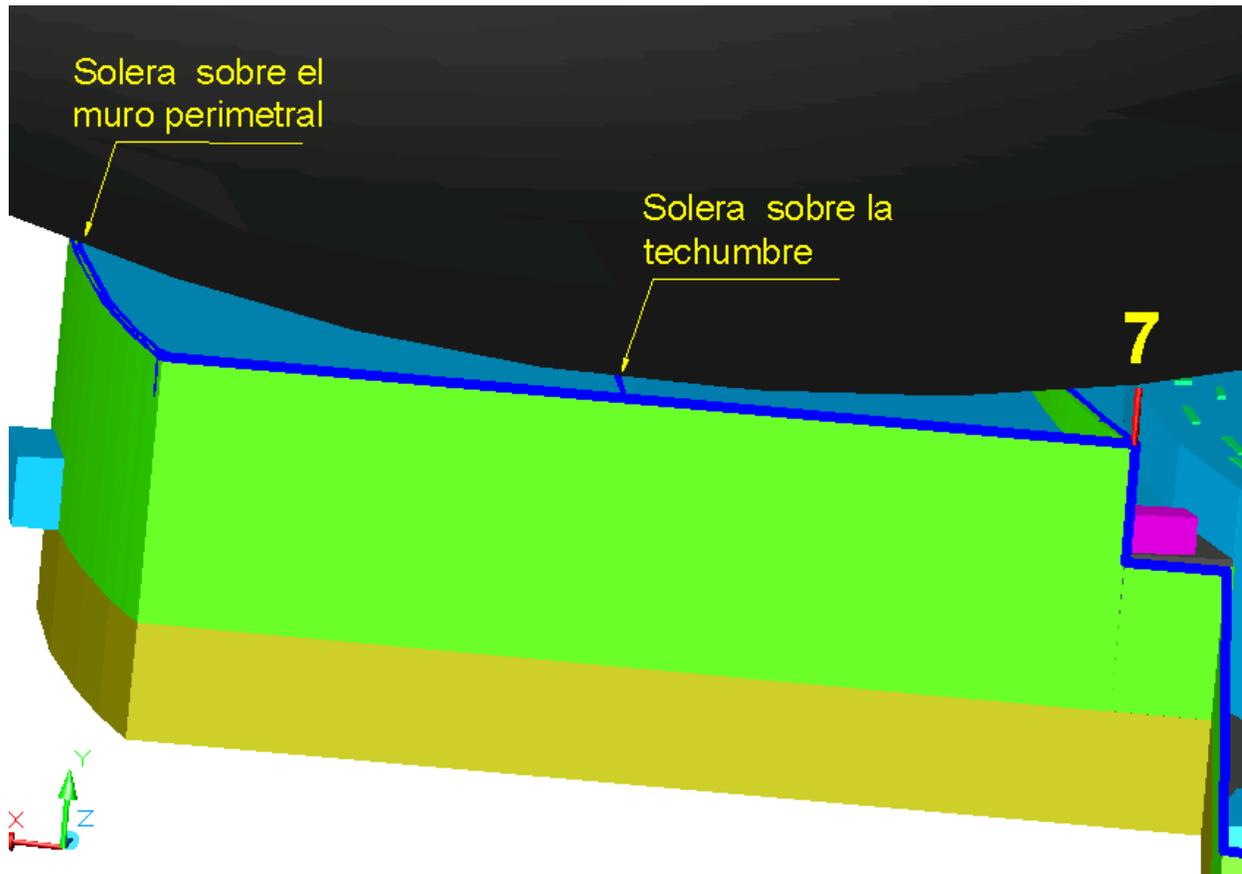
*Figura 56. Protección de la techumbre metálica en al área de comensales con las terminales aéreas 17, 18 y 19 para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección en la techumbre metálica central y el muro perimetral se indica en la figura 57, considerando las terminales aéreas 19, 20 y solera sobre el muro perimetral.



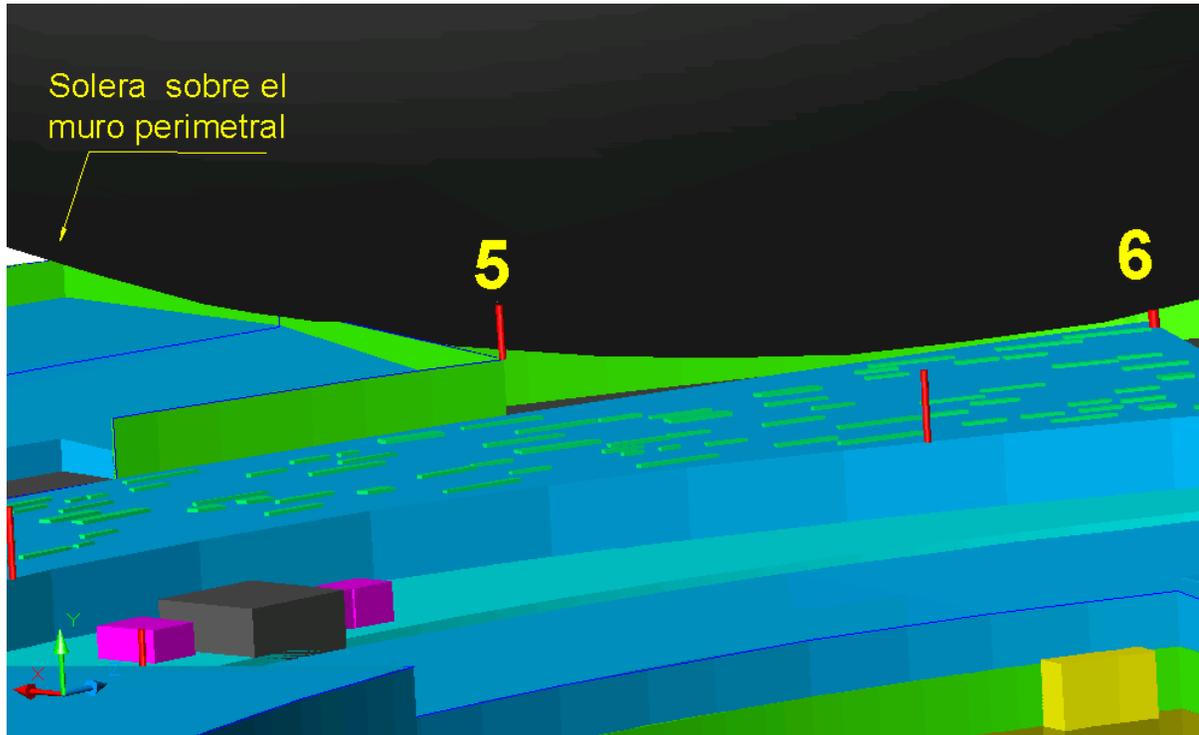
*Figura 57. Protección de la techumbre metálica central y el muro perimetral con las terminales aéreas 19, 20 y solera sobre el muro perimetral para una esfera rodante con radio de 120 m.*

La protección entre la solera del contorno y la techumbre metálica de los locales comerciales se indica en la figura 58, considerando las terminales aéreas de la solera sobre el muro perimetral y sobre la techumbre metálica.



*Figura 58. Protección de la techumbre metálica de los locales comerciales y el muro perimetral con las terminales aéreas tipo solera para una esfera rodante con radio de 120 m. La terminal aérea 7 mostrada en el dibujo es de referencia únicamente.*

La protección del techo de la zona de administración se indica en la figura 59, considerando las terminales aéreas 5, 6 y la solera sobre el muro perimetral.



*Figura 59. Protección del techo de la zona de administración de la plaza comercial con las terminales aéreas 5, 6 y la terminal aérea tipo solera para una esfera rodante con radio de 120 m.*

### 3.9.- CONSIDERACIONES DE INSTALACIÓN

#### Terminales horizontales

Para el criterio de protección de la plaza comercial, es necesario ubicar una solera metálica en los siguientes sitios:

- a) Barda perimetral
- b) Contorno y cumbre de los techos metálicos de los locales comerciales.
- c) Contorno de la torre de enfriamiento sobre el techo de la tienda.

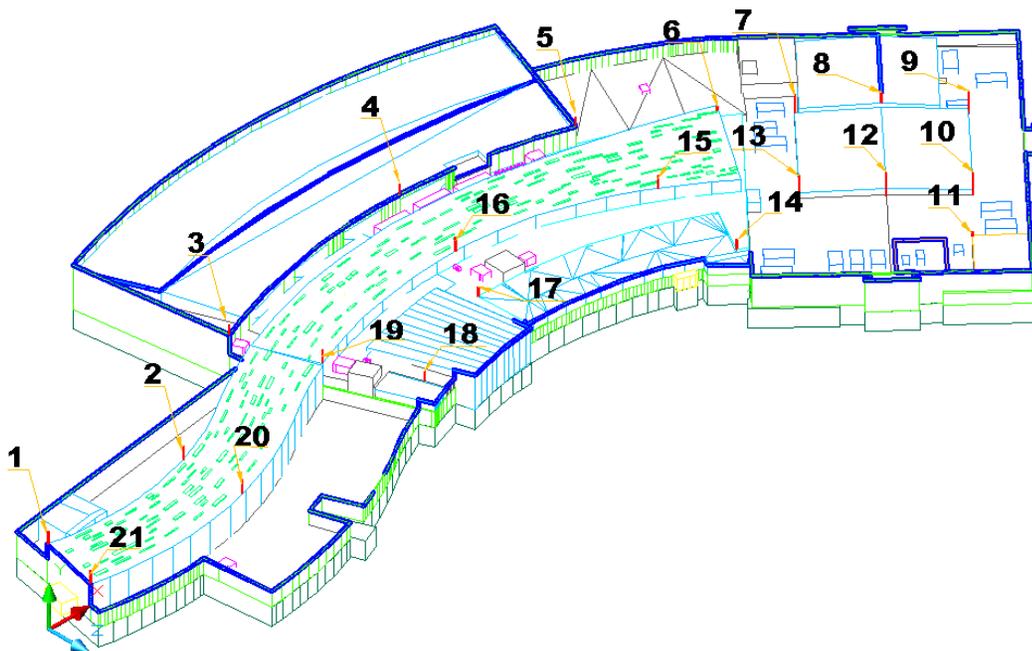


Figura 60. Ubicación de terminal aérea tipo solera metálica sobre la barda perimetral, techo de locales comerciales y torre de enfriamiento en techo de tienda.

### **3.10.- UNIÓN EQUIPOTENCIAL**

La terminal aérea tipo solera deberá estar interconectada en toda su extensión, unida con todas las terminales aéreas verticales e interconectados a nivel de azotea para lograr la unión equipotencial.

A su vez, estas interconexiones deberán estar interconectadas con todos los conductores de bajada en la periferia de la plaza comercial.

La disposición de las soleras, las barras y conductores de unión para la unión equipotencial de equipo, estructuras y terminales aéreas se indica en el plano A

### **3.11.- CONDUCTORES DE BAJADA**

La NMX exige un número determinado de conductores de bajada, dependiendo del nivel de protección utilizado. Para el caso de la Plaza Comercial, se utilizaron varios niveles de protección, por lo que la distancia promedio deberá ser de 20-25 metros entre cada conductor de bajada. Sin embargo, debido a restricciones prácticas de instalación, se instalarán dos trayectorias de conductores de bajada, en los lugares indicados en el plano A.

Si los conductores de bajada son de un calibre 4/0 o mayor estos no requiere de protección excepto en casos donde este expuesto a daño físico severo en caso de ser de un calibre menor deberá fijarse ala construcción o deberá correr por un tubo conduit. En caso de utilizar tubería conduit estos se deben conectar a tierra en ambos extremos estos cables no deben ser de aluminio o de cobre con aluminio por que se corroen cuando están en contacto con la tierra o el cemento.

## **CAPITULO 4.- PRESUPUESTO DE OBRA.**

## **CAPITULO 4.- PRESUPUESTO DE OBRA.**

### **4.1.-PRESUPUESTO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SEPTE.**

A continuación se presenta la parte económica para la instalación del SEPTE tomando como base el plano A de un centro comercial, en donde se puede ver el presupuesto de mano de obra, donde se incluye el costo de suministro de materiales e instalación de las puntas pararrayo. Este contempla la instalación de 14 puntas, en donde 13 de ellas son de material de acero inoxidable tipo 304, y una de duraluminio las medidas se mencionan en dicho presupuesto.

Además de que se cuenta con la instalación de solera perimetral la cual pudo sustituirse por cable de cobre pero debido a la comparación económica de ambos es más factible instalar solera galvanizada, ya que las características técnicas si son permitidas.

Nota: La cantidad de cable así como de solera fue calculado en base al plano A pero pueden variar debido a la o las trayectorias que en obra se le den.

Obra: Plaza Saltillo  
Ciudad: Saltillo Coahuila

Fecha: 19/09/2008  
Vigencia: 30 días

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Importe	% Incidencia
<b>A</b>	<b>Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas</b>					
S-1000-7M	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS DE 7 METROS A BASE DE UN MÁSTIL TELESCOPICO DE TRES SECCIONES ( 3m X 1 1/2"+ 2m X 1 1/4 + 2m x 1") CON RETENIDAS. EL PRECIO INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTA MENOR.	PZA	5	\$18.565,20	\$92.826,00	10,47%
S-1000-4M	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS DE 4 METROS A BASE DE UN MÁSTIL TELESCOPICO DE TRES SECCIONES ( 3m X 1 1/4"+ 1m X 1") CON RETENIDAS. EL PRECIO INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTA MENOR.	PZA	6	\$12.685,03	\$76.110,18	8,58%
S-1000-3M	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS DE 3 METROS A BASE DE UN MÁSTIL TELESCOPICO DE TRES SECCIONES (2m X 1 1/4"+ 1m X 1") CON RETENIDAS. EL PRECIO INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTA MENOR.	PZA	3	\$9.928,01	\$29.784,03	3,36%
S-1000-3M/C	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS DE 3 METROS EN CANTILIVER DE UN MÁSTIL TELESCOPICO DE DOS SECCIONES (3m X 1 1/4"+ 1m X 1") CON RETENIDAS. EL PRECIO INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTA MENOR.	PZA	4	\$9.179,18	\$27.537,54	3,11%
S-1000-1M	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS DE 1 METRO A BASE DE UN MÁSTIL DE UNA SECCIONES (1m X 1").	PZA	2	\$6.692,91	\$6.692,91	0,75%
S-3000-D	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PUNTA PARARRAYOS CAT. D/SMKIV-SS INSTALADA SOBRE MÁSTIL DE 4m. EL PRECIO INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN DE MATERIALES Y HERRAMIENTA MENOR.	PZA	1	\$46.925,70	\$46.925,70	5,29%
CAB1-28H-PGG2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG 28 HILOS EN TUBO GALVANIZADO PARED GRUESA DE 25mm.	m	300	\$365,19	\$109.557,00	12,35%
CAD-1150	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VB", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VBC-2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	24	\$441,43	\$10.594,32	1,19%
CAD-1148	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VB", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VBC-2G, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	20	\$411,31	\$8.226,20	0,93%
CAD-1162	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VF", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VFR-2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	20	\$510,28	\$10.205,60	1,15%
CAD-0118	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO "TA" DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG A 4/0 AWG, No. DE CATALOGO DEL MOLDE TAC-2Q2Q, CARGA F20# 150	PZA	20	\$437,01	\$8.740,20	0,99%
CON10	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SOLERA DE ACERO AL CARBÓN GALVANIZADA DE 1/4" DE ESPESOR x 1" DE ANCHO CON CINTA ADHESIVA 3M.	m	500	\$216,47	\$108.235,00	12,21%
CON-09	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SOLERA DE ACERO AL CARBÓN GALVANIZADA DE 1/4" DE ESPESOR x 1" DE ANCHO.	m	820	\$172,18	\$141.187,60	15,92%
CAD-12472B	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO "GL" DE CABLE DE COBRE DESNUDO 2/0 AWG A ZAPATA DE COBRE CON 2 BARRENOS, No. DE CATALOGO DEL MOLDE GLC-CE2G, CARGA F20 #45.	PZA	1	\$408,22	\$408,22	0,05%
PUELEC-01RP	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ELECTRODO DE TIERRA FABRICADO A BASE DE UNA VARILLA TIPO COPERWELD DE 5/8" X 10" No. DE CATALOGO 615800MEX01, CON RELLENO INTENSIFICADOR GEM 25A EN REGISTRO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.	PZA	12	\$2.563,31	\$30.759,72	3,47%
CAD-0546	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO "GR" DE CABLE TERMINAL DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG A VARILLA PARA TIERRAS, No. DE CATALOGO DEL MOLDE GRC-162Q, CARGA F20 #90.	PZA	12	\$387,12	\$4.645,44	0,52%
CAD-0744	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO "GY" DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG A PARTE MEDIA DE VARILLA PARA TIERRAS, No. DE CATALOGO DEL MOLDE GYE-162Q, CARGA F20 #150	PZA	8	\$527,09	\$4.216,72	0,48%
PAC15	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PLACA DE ACERO AL CARBÓN ROLADA EN FRIÓ DE 1/4" X 15cm X 15cm.	PZA	4	\$304,28	\$1.217,12	0,14%
CAB1-19H-ZGEM	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG 19 HILOS EN ZANJA CON RELLENO INTENSIFICADOR GEM25A.	m	60	\$520,74	\$31.244,40	3,52%

**Total: SPTE**

**\$749.113,90 82,66%**

Obra: Plaza Saltillo  
Ciudad: Saltillo Coahuila

Fecha: 19/09/2008  
Vigencia: 30 días

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Importe	% Incidencia
<b>B UNIÓN EQUIPOTENCIAL</b>						
CAD-1150	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VB", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VBC-2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	10	\$441,43	\$4.414,30	0,56%
CAD-1148	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VB", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VBC-2G, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	10	\$411,31	\$4.113,10	0,52%
CAD-1068	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO HORIZONTAL TIPO "HS", No. DE CATALOGO DEL MOLDE HSC-2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	20	\$411,31	\$8.226,20	1,04%
CAD-1162	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A SUPERFICIE DE ACERO VERTICAL TIPO "VF", No. DE CATALOGO DEL MOLDE VFR-2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	10	\$510,28	\$5.102,80	0,64%
CAD-1247	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A ZAPATA DE COBRE TIPO "GL", No. DE CATALOGO DEL MOLDE GLC-CE2G, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	40	\$364,75	\$14.590,00	1,84%
CAD-1250	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A ZAPATA DE COBRE TIPO "GL", No. DE CATALOGO DEL MOLDE GLC-CE2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	20	\$368,27	\$7.365,40	0,93%
CAD-1287	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE DE CABLE A BUS DE COBRE TIPO "LJ", No. DE CATALOGO DEL MOLDE LJC-EG2Q, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA, PRUEBAS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA INSTALACIÓN.	PZA	2	\$388,35	\$776,70	0,10%
CAB1-28H-PGG2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG 28 HILOS EN TUBO GALVANIZADO PARED GRUESA DE 25mm.	m	50	\$365,19	\$18.259,50	2,30%
CAB1-19H-PGG2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CABLE DE COBRE DESNUDO 4/0 AWG 19 HILOS EN TUBO GALVANIZADO PARED GRUESA DE 25mm.	m	150	\$347,42	\$52.113,00	6,56%
CAD-0048	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONEXIÓN SOLDABLE TIPO "PC" CON DERIVACIÓN EN PARALELO POSICIÓN HORIZONTAL; CABLE DE PASO 2/0 AWG, CABLE DE DERIVACIÓN #2 AWG, No. DE CATALOGO DEL MOLDE PCC 2G1V, CARGA F20#90.	PZA	26	\$644,48	\$16.756,48	2,11%
PEGBA14213S/A	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE PLACA DE COBRE TIPO EGB14213, DE 1/4" X 2" X 13", SIN AISLADORES.	PZA	2	\$2.988,18	\$5.976,36	0,75%

**SubTotal: UNIÓN EQUIPOTENCIAL**

**\$137.693,84 17,34%**

**TOTAL**

**\$886.807,74 100,00%**

**Total del Presupuesto sin IVA:**

**(\* OCHOCIENTOS OCHENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS SIETE PESOS 74/100 M.N. \*)**

Notas:

- 1.-Estos precios son unitarios y los volúmenes se estimaron de acuerdo con el levantamiento efectuado; sin embargo, los volúmenes finales se verificarán en campo
- 2.- Este presupuesto incluye: suministro de materiales y mano de obra, los conceptos que surjan adicionalmente al presupuesto original, se valorarán y conciliarán con el cliente antes de su ejecución.
- 3.- La forma de pago será un anticipo del 30%, y estimaciones semanales de acuerdo al avance de los trabajos.
- 4.-Los pagos se efectuarán en las oficinas de la ciudad de México, a los 3 días de presentada la factura y estimación correspondientes. Los pagos extemporáneos generan una multa correspondiente al 1% del importe de la factura.
- 5.- El tiempo estimado de los trabajos será de 6 semanas, en jornadas de trabajo de 8 horas, en caso de interferencias o de trabajos fuera del horario establecido, por solicitud de terceros, la mano de obra sufrirá un incremento del 25%.
- 6.- El tiempo de ejecución se contará a partir de contar con los materiales en sitio.

# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

La proliferación e instalación de dispositivos no convencionales de protección contra tormentas eléctricas en México ha sido el resultado de una falta de normatividad, ya que cada fabricante utiliza sus propios criterios de diseño e instalación, generando una gran anarquía, con el consiguiente riesgo para los usuarios, dando lugar a tener que adecuarse estrictamente a normas de índole extranjero.

Ya teniendo una referencia mexicana que es la NMX-J-549-ANCE-2005, tomando como base la norma internacional IEC 1024-1, 1-1 y 1-2, en la que dicha norma mexicana emite las recomendaciones, basadas en “El método de la esfera rodante”, para la ubicación e instalación de los elementos del sistema externo de protección, en donde se toman características climatológicas específicas de cada lugar, así como el número de rayos promedio que caen en cada estado de la república mexicana por año (valores que no son los mismos en cada parte del mundo),

Esta tesis además de exponer los puntos que la norma mexicana menciona con respecto a la protección externa tanto de seres vivos como de inmuebles, se explico por medio de un caso práctico la aplicación de los conceptos básicos que dicha norma enmarca.

Cabe recalcar que para una completa protección (protección integral), se debe instalar junto con el sistema externo de protección contra tormentas eléctrica (SEPTE), el sistema interno de protección contra tormentas eléctrica (SIPTTE), solo si un estudio avalado lo determina.

## **DEFINICIONES.**

## DEFINICIONES

**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.

**Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE):** 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.

**Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas aislado (SEPTE 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.

**Sistema externo de protección contra tormentas eléctricas no aislado (SEPTE 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.

**Sistema interno de protección contra tormentas eléctricas (SIPTTE):** 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.

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

**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.

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

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

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

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

**Densidad de rayos a tierra:** número de rayos promedio por km<sup>2</sup> por año en un lugar determinado.

**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.

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

**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.

**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.

**Energía específica (WIR):** 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.

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

**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.

**Frecuencia de rayo directo a una estructura:** número anual promedio esperado de rayos directos a una estructura.

**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.

*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.

**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.

**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.

**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.

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

**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.

**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.

**Resistividad superficial:** resistividad promedio de la capa superficial del suelo.

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

*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.

**Valor pico de corriente de rayo (1):** máximo valor de la corriente de rayo.

**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  $[t_2 - t_1]$ .

**Terminales aéreas:** elementos aéreos metálicos cuya función es recibir la descarga del rayo ofreciendo un punto de incidencia con el fin de evitar daños a la estructura a protección.

**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.

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

**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 SEPTE y del SIPTTE, el cual es independiente de cualquier otro sistema de puesta a tierra en la instalación eléctrica.

**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.

**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.

**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.

**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.

**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.

**Electrodo de puesta a tierra:** elemento metálico enterrado que establece una conexión eléctrica a tierra.

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

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

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

**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.

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

**Registro para prueba:** punto accesible del sistema de puesta a tierra, SPT.

**Red de puesta a tierra de referencia:** malla equipotencial dispuesta sobre piso para la conexión a tierra de equipo electrónico.

**Armado de acero interconectado:** partes de acero dentro de la estructura considerada como eléctricamente continuas.

**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

**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).

## **ANEXO 1.- PLANO “A”.**

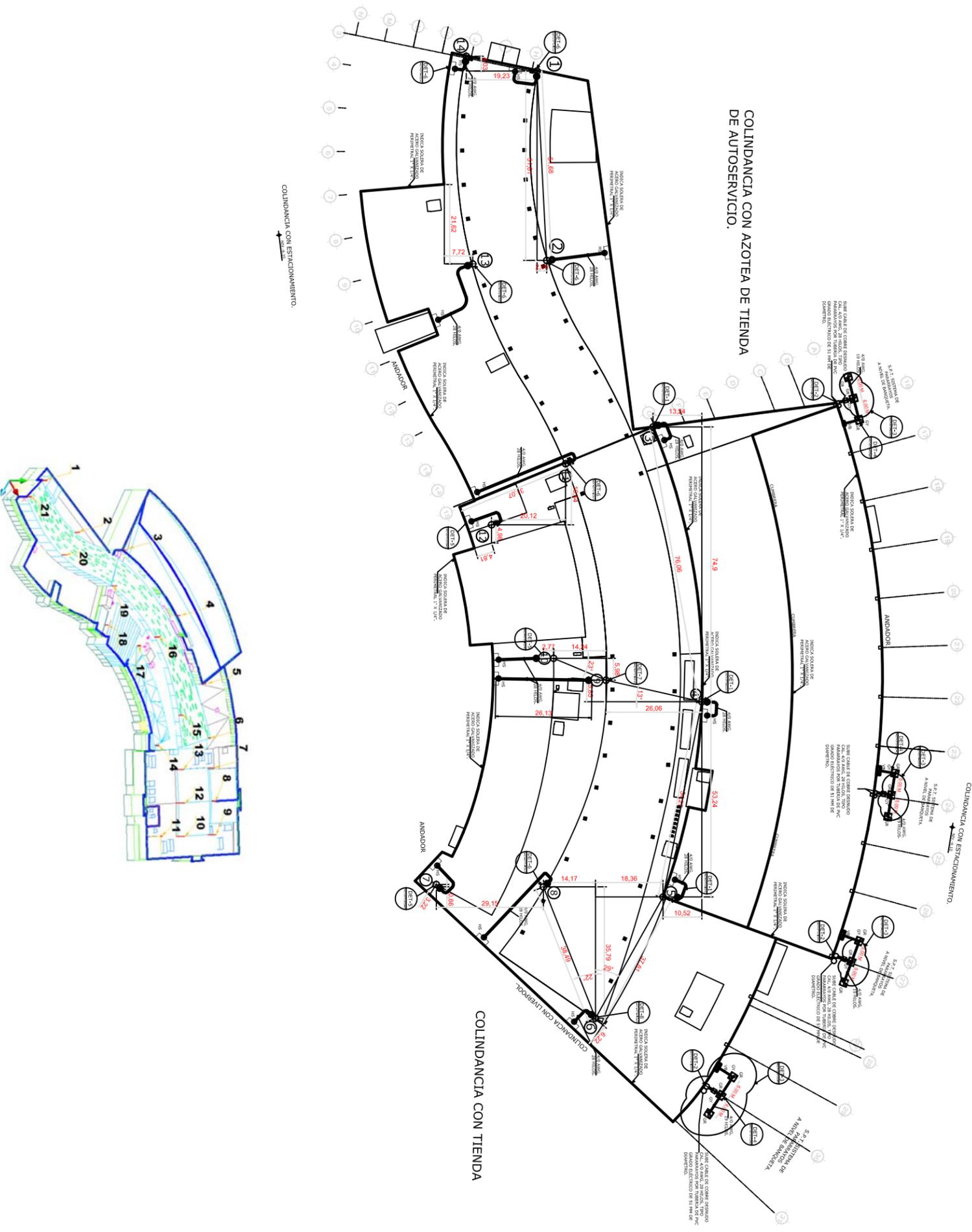
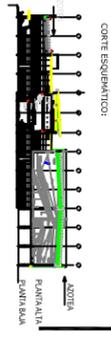


FIG. 1 UBICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS TERMINALES AÉREAS Y DE SOLERA DE ACERO GALVANIZADO PERIMETRAL. (S/E).

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
2	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
3	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
4	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
5	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
6	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
7	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
8	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
9	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
10	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
11	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
12	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
13	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
14	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
15	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
16	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
17	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
18	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
19	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
20	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00
21	TERMINAL AEREA TIPO REFERENCIAL	1	UNIDAD	1.000,00	1.000,00

- 1.- EN ESTE PLANO SE MUESTRA LAS TERMINALES AERAS Y SU RESPECTIVA REFERENCIA AL 97°.
- 2.- VER COMO EN EL ANEXO PARA UBICAR LAS TERMINALES AERAS.
- 3.- EL SISTEMA DE ALEROS EN LA TIENDA AEREA TIPO REFERENCIAL, TIENE UN TUBO METALICO CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 4.- LA TIENDA AEREA TIPO REFERENCIAL, TIENE UN TUBO METALICO CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 5.- LA TIENDA AEREA TIPO REFERENCIAL, TIENE UN TUBO METALICO CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 6.- LA TIENDA AEREA TIPO REFERENCIAL, TIENE UN TUBO METALICO CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 7.- LA TIENDA AEREA TIPO REFERENCIAL, TIENE UN TUBO METALICO CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 8.- VER EL DISEÑO QUE SE ENCONTRA EN EL ANEXO 1.
- 9.- LAS CONEXIONES AL ACERO DE REJUNTO DE LA CONSTRUCCION DE REJUNTO METALICO, CON CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG, TIENE SUAL, 19 HILOS EXCEPTO COMO SE INDICA LO COMANDO.
- 10.- TENER LAS RUTAS DE LOS CONDUCTORES MUESTROS SON REPRESENTATIVAS, LA LOCALIZACION FINAL SERA DEFINIDA EN OBRAS.
- 11.- LAS BASES DE CONCRETO DESTINADAS A LAS TERMINALES AERAS DEBERAN DE TENER CARACTERISTICAS SIMILARES A LA LOSA DE AZOTEA DE REFERENCIA EN ESTE PLANO.
- 12.- LAS BASES DE CONCRETO DESTINADAS A LAS TERMINALES AERAS DEBERAN DE TENER CARACTERISTICAS SIMILARES A LA LOSA DE AZOTEA DE REFERENCIA EN ESTE PLANO.
- 13.- LAS BASES DE CONCRETO DESTINADAS A LAS TERMINALES AERAS DEBERAN DE TENER CARACTERISTICAS SIMILARES A LA LOSA DE AZOTEA DE REFERENCIA EN ESTE PLANO.
- 14.- LAS BASES DE CONCRETO DESTINADAS A LAS TERMINALES AERAS DEBERAN DE TENER CARACTERISTICAS SIMILARES A LA LOSA DE AZOTEA DE REFERENCIA EN ESTE PLANO.
- 15.- La ubicación de las terminales en el plano son representativas y no se debe su ubicación como en el plano, como se muestra en el plano de referencia.

- SIEMPRE:**
- CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG.
  - CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-49 AWG.
  - 24 HILOS TIPO PASABANDOS.
  - CABLE DE COBRE RESISTIDO CUL-209 AWG.
  - TIPO DE ACERO GALVANIZADO PERIMETRAL DE 1 X 1/4".
  - INDICA TERMINAL AEREA.
  - CONECTOR SOSTENIBLE TIPO BROTERRON.
  - INDICA CONEXION MECANICA DE CABLE A TERMINAL AEREA.
  - TUBERIA DE PVC, DIAMETRO ELECTRICO 51 MM DE DIAMETRO.
  - CONECTOR PARED ANTERIOR DE 29 MM DE DIAMETRO.
  - INDICA REGISTRO DE INGENIERIA DE 60 X 60 CM O 60 X 60 CM CON PISA PARA TUBO DE PASEO FORMO CON ASERA.
  - COLUMNA DE CONCRETO REFORZADO.
  - PLACA DE ACERO AL CARBON REFORZADO EN PLACA DE ACERO AL CARBON SÓLIDO EN PLACA DE 10 CM X 10 CM X 1/4".
  - VALVULA TIPO CONTROLADO DE 1" X 1/2" EN EL RETORNO DE DEN.



PROYECTO : **PLAZA GALERIAS.**

UBICACION : **SANTITO, COMUELA.**

CONTENIDO : **CLAVE : E-008-SPE**

SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TORMENTAS ELECTRICAS.

FECHA : 15/08/2024

ESCALA : 1/1

BOJUDO : 1

ACOTACION : 1/1

REVISOR : 1

PLANOS DE REFERENCIA : 1

## **BIBLIOGRAFIA.**

## **BIBLIOGRAFIA.**

Norma NMX  
NMX-J-549-ANCE-2005  
Sistema de protección contra tormentas eléctricas  
-especificaciones, materiales y métodos de medición.

<http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>  
SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA  
- TEORÍA, DISEÑO, MEDICIÓN y MANTENIMIENTO -  
5. Puesta a Tierra de Protección Atmosférica