

CAPÍTULO 6

ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LAS TORRES DEL EOU

6.1. CARACTERÍSTICAS

Un Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SPTE) diseñado e instalado adecuadamente basado en Normas Mexicanas, reduce el riesgo de daño que puede provocar un rayo. Sin embargo, es importante señalar que éste tipo de sistemas no garantiza una protección absoluta a personas, estructuras u objetos. Un SPTE no tiene la capacidad de influir o evitar los procesos de formación del rayo o descarga eléctrica a tierra de origen atmosférico, pero sí es capaz de interceptar, conducir y disipar la corriente de rayo.

Un SPTE está integrado de 3 elementos

- Terminales aéreas
- Conductores de bajada
- Electrodo de puesta a tierra (SPT)
- Unión Equipotencial (UE)

Por eso se recomienda que un SPTE sea parte integral del proyecto de instalación eléctrica de una estructura, edificio o instalación; en este caso la instalación de este sistema se encargará de la protección contra descargas atmosféricas a los asistentes al Estadio Olímpico Universitario, así como también a los que se encuentren realizando actividades deportivas a nivel cancha. La ubicación de este sistema debe ser en el punto más alto de la zona que se desea proponer por lo que estará ubicado en las torres de iluminación del estadio.

En este capítulo se analizará y especificará el diseño, los materiales y los métodos para el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas en el Estadio Olímpico Universitario basándose en la Norma Oficial Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005 y en la Norma Oficial Universitaria con la finalidad de analizar y proponer éste sistema.

Cabe destacar que según la norma oficial mexicana un SPTE está formado por un Sistema Externo de Protección SEPTE y un Sistema Interno de Protección SIPTE; aunque en algunas circunstancias el SPTE puede estar formado exclusivamente por el SIPTE y para éste es necesario analizar la valoración de riesgo que es una medida empírica la cual estima en forma razonable la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

6.2. ANTECEDENTES Y NECESIDADES

En el Estadio Olímpico Universitario la necesidad de instalar un SPTE es evidente ya que se tiene el compromiso de además de brindar la mejor comodidad a espectadores y deportistas, también se debe proveer de una protección al equipo instalado; es por esto que dedicará este apartado a analizar la situación del terreno y dar un veredicto de la necesidad de instalación de éste sistema basándose en la Norma Oficial Mexicana y la Normatividad Universitaria. Ya que el sistema de pararrayos actual se encuentra dañado en su instalación desde el sistema de terminales aéreas hasta el sistema de puesta a tierra, por lo que no se cuenta con las condiciones mínimas que permitan asegurar una protección adecuada.

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

$$N_0 = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (6.1)$$

Donde

N_0 frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura.

N_g densidad promedio anual de rayos a tierra por Km² (DRT).

A_e área equivalente da captura de la estructura en m².

Otro parámetro a utilizar es N_d , que es la frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura y se clasifica dependiendo a su uso y contenido de finidos en la tabla 6.1.

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (Nd)
Residencia	Daño a la instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en la punta de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0.04
Edificios de servicios como: Centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, centros deportivos, escuelas, estacionamientos, estaciones de autobuses, metro o trenes.	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
Hospitales Asilos Reclusorios	Falla de equipos, daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control. Pérdida de enlaces de información, falla de computadoras y pérdida de información	0.02
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de estigios culturales irremplazables.	0.02
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0.02

TABLA 6.1 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes. Fuente NMX-J-549-ANCE-2005 (Ver Anexo 2)

De esta tabla se puede identificar al EOU como un Edificio de Servicio indicando una frecuencia $N_d = 0.02$.

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

Para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo y de dos aguas se calcula:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (6.2)$$

$$A_e = ab + 6hb + 9\pi h^2 \quad (6.3)$$

Para una estructura aislada ubicada en terreno irregular, se calcula:

$$A_e = ab + 6h_e(a + b) + 9\pi h_e^2 \quad (6.4)$$

Para una estructura con otras adyacentes se calculan primero las distancias correspondientes con la siguiente ecuación:

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2} \quad (6.5)$$

Donde:

- a longitud de uno de los lados de la estructura en metros.
- b longitud del otro lado de la estructura en metros.
- h altura de la estructura en metros.
- h_e altura equivalente de la estructura en el terreno irregular en metros.
- h_s altura del objeto vecino en metros.
- X_s distancia equivalente en metros.
- d distancia horizontal entre la estructura y el objeto vecino en metros.

Como se puede observar, el último punto es el que se adecúa al sistema del EOU, por lo que se empleará la ecuación para el cálculo de las distancias equivalentes, ya que en el estadio se cuenta con 4 estructuras.

Para el cálculo del área equivalente de captura se analizará una torre y, puesto que son simétricas e iguales en estructura y medidas, se tomarán los mismos resultados para las demás.

Considerando que las alturas de las torres son las mismas se puede simplificar la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$X_s = \frac{d}{2} \quad (6.6)$$

Por lo tanto, los resultados de las distancias equivalentes aproximadas entre ellas son:

$$X_{s_{12}} = 80.5[m], \quad X_{s_{13}} = 114[m] \text{ y } \quad X_{s_{14}} = 81[m]$$

Ahora, con estos resultados, se puede determinar el área equivalente de captura como se observa en la figura 6.1.

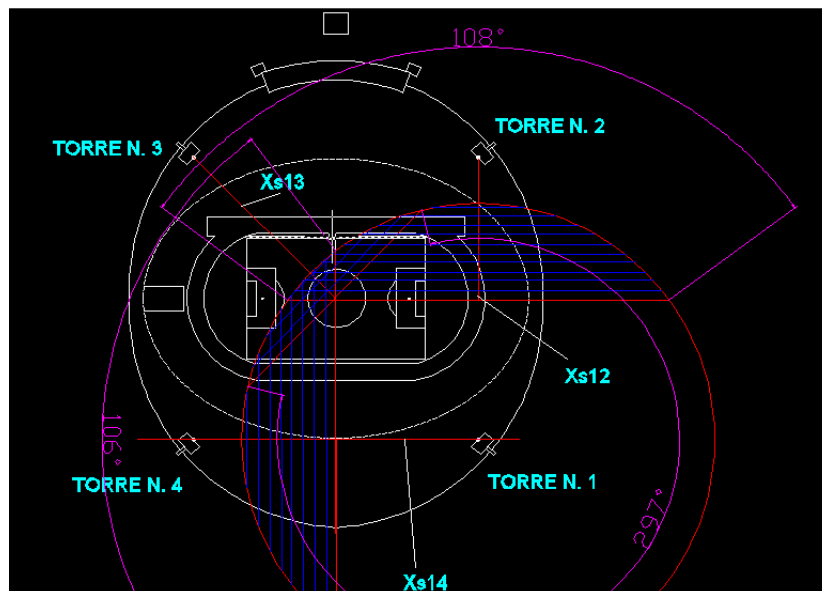


Figura 6.1 Área equivalente de captura para las cuatro torres del EOU

Como se puede observar en la figura anterior, las áreas equivalentes son segmentos de un círculo, por lo que se empleará la siguiente ecuación.

$$\text{Área}_{seg\ circular\ AB} = \text{Área}_{sec\ circular\ AOB} - \text{Área}_{triángulo\ AOB} \quad (6.7)$$

Donde el área del sector circular AOB se puede determinar por:

$$X_s = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha}{360^\circ} \quad (6.8)$$

En la figura 6.1r se tiene un área equivalente $A_e = 2261.308 \text{ m}^2$ para la torre numero 1; recordando que para las demás torres el resultado es el mismo ya que consideramos simetría entre ellas.

Ahora, en base a tablas de la norma mexicana, se puede calcular el DRT²⁸ (Ng), para ésta zona del Distrito Federal, en la figura 6.2.

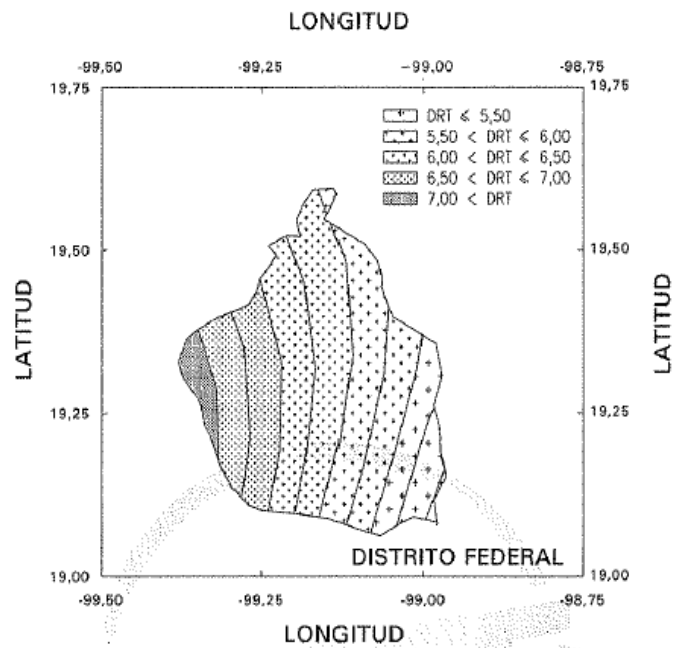


Figura 6.2 Incidencia de rayos por zonas en el Distrito Federal

²⁸ DRT: Incidencia de rayos.

De esta manera se calcula el valor de la frecuencia promedio anual de rayos directos a una estructura.

$$N_0 = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 2261.308 \cdot 10^{-6} = 0.012$$

Una vez determinado el valor de N_0 se debe comparar con el valor de la frecuencia media anual permitida N_d para evaluar la necesidad de protección, considerando lo siguiente:

- Si $N_0 \leq N_d$, SEPTE es opcional
- Si $N_0 > N_d$ debe instalarse un SEPTE

Tomando en cuenta la consideración anterior, observamos que el PEPTE es opcional, sin embargo y para mayor seguridad de nuestro equipo y de los espectadores, se realizará el diseño de nuestro sistema contra descargas atmosféricas.

6.3. DISEÑO

El diseño está basado en el método de la esfera rodante, el cual 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 siendo capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo.

Para comenzar el diseño de un SPTE es necesario seleccionar el nivel de protección a utilizarse según la Norma Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005 para la altura y ubicación de las terminales aéreas, tal y como se muestra en la tabla 6.2.

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
Residencia	Daño a la instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en la punta de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III o IV
Edificios de servicios como: Centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, centros deportivos, escuelas, estacionamientos, estaciones de autobuses, metro o trenes.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Perdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y perdida de información.	II
Hospitales Asilos Reclusorios	Falla de equipos, daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control. Perdida de enlaces de información, falla de computadoras y perdida de información	I o II
Museos y sitios arqueológicos	Perdida de estigios culturales irremplazables.	II

Tabla 6.2 niveles de protección NOM NMXJ-549

Debido a las características de la estructura del EOU y del equipo a proteger, se ubica el nivel de protección recomendado en el nivel III; considerando que la estructura es de concreto y cuenta con elementos metálicos salientes. Una vez ubicado el nivel de protección se puede determinar el valor de la corriente de rayo $i [KV]$, así como el radio la esfera rodante $rs [m]$ a través de la tabla 6.3.

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

Tabla 6.3 Nivel de Protección. Fuente NOM NMXJ-549-ANCE-2005

De la tabla 6.3 se obtiene valor de una corriente de rayo mínima para nuestra protección de 10 [KA] y un radio de nuestra esfera iguala 45 [m]. Para determinar el número y la ubicación de puntas a colocarse es necesario aplicar en método de la esfera rodante como se observa en la figura 6.3.

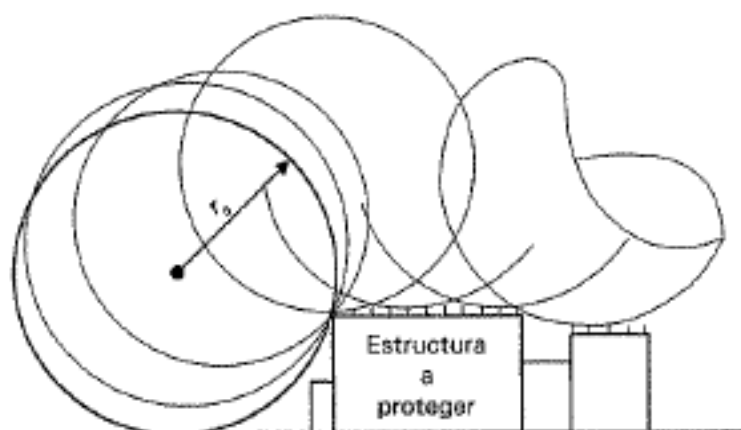


Figura 6.3 Aplicación del método de la esfera rodante para definir altura y posición de las terminales aéreas.

Empleando los criterios anteriormente mencionados, para el diseño de la protección contra descargas atmosféricas en las torres del EOU será en base a la figura 6.4, donde se puede observar que se toma como referencia una punta en el centro de nuestra estructura, ésta queda totalmente cubierta; sabiendo que el aérea protegida es la que se encuentra por debajo del rodamiento de la esfera y que está limitada a la torre y al plano.

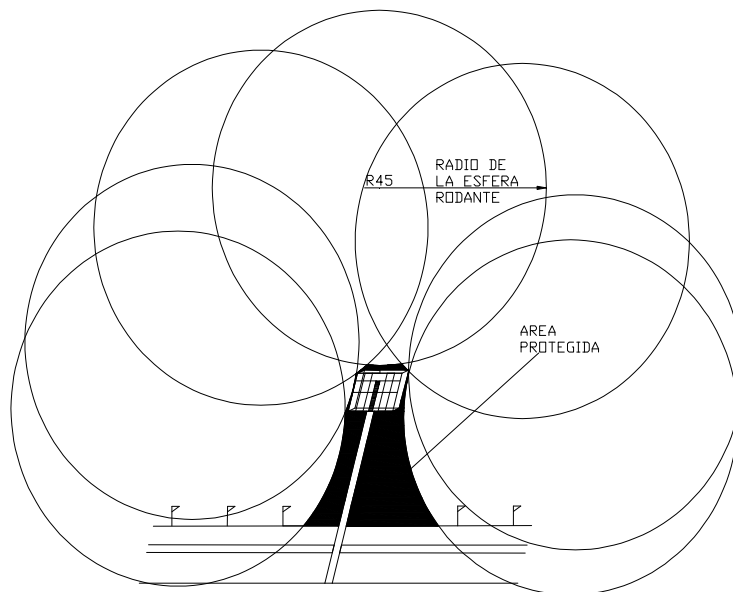


Figura 6.4 Resultados gráficos aplicando el método de la esfera rodante

Las puntas a colocarse pueden ser:

- Elementos metálicos verticales
- Cables aéreos tendidos horizontalmente
- Combinación de ambos

Para la selección de las dimensiones de las terminales aéreas se toman en cuenta las medidas sugeridas por la Norma Oficial Mexicana NOMX-J-549-ANCE-2005 para terminales aéreas en SEPTE no aislado, a partir de la tabla 6.4.

Material	Sección transversal mm ²
Cobre	35
Aluminio	70
Acero inoxidable (Aleación tipo 304)	50

Tabla 6.4 Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas. NOM NMXJ-549-ANCE-2005

Para esta propuesta se decidió emplear una punta "Prevectorn 2" (Figura 6.5), que cuenta con dispositivo de cebado. Esto quiere decir que cuando ocurre un

golpe de rayo, existe a nivel del suelo un campo eléctrico permanente que crece en función de la aproximación del “trazador descendente”. A partir de un cierto umbral (50 a 100 KV/m), el efecto corona, que se desarrolla naturalmente en la punta de ciertas asperezas, permitirá el arranque de descargas ascendentes dirigidas hacia la nube.

Este pararrayos en presencia de un campo eléctrico importante, los captadores inferiores cargan el dispositivo de ionización en energía eléctrica y, durante el golpe de rayo, los electrodos superiores generan chispas que permiten el desarrollo de un trazador ascendente que intercepta y canaliza la corriente del rayo hacia la tierra a través de la punta central. Una punta captadora central de cobre electrolítico o de acero inoxidable. Élla atraviesa el pararrayos y así crea un camino continuo hacia la tierra para conducir la corriente del rayo.

Algunas características de esta punta se mencionan a continuación.

- Electrodo superior generador de chispas.
- Un dispositivo eléctrico de cebado, blindado en su caja protectora
- Captadores inferiores de recuperación de la energía ambiente
- Funcionamiento totalmente autónomo
- Fiabilidad inclusive en condiciones climáticas extremas
- Resistencia comprobada en caso de descargas de rayos repetidas
- El pararrayo se activa únicamente cuando hay una elevación del campo eléctrico (ante el riesgo de una descarga eléctrica).
- Seguridad de la punta captadora debido al respeto del principio de continuidad eléctrica entre la punta y la toma de tierra

El radio de protección R_p del pararrayos es calculado según la fórmula de la norma NFC17-102 de Julio de 1995. Los radios de protección dependen de varios parámetros:

Como se menciona anteriormente, el nivel de protección determinado es nivel III. Mediante las tablas del proveedor podemos obtener el radio de protección especificado a partir de la tabla 6.5.

H (m) >>>	10	20	45	60 (máx)
S6.60	109	113	119	120
S4.50	98	102	109	110
S3.40	87	92	99	100
TS3.40	87	92	99	100
TS2.25	69	75	84	85

Tabla 6.5 Radios estándar de protección para h < 5m

El parámetro H[m] es la altura real del pararrayo arriba por encima de la superficie a proteger, en este caso el valor de éste parámetro es de 60(máx).

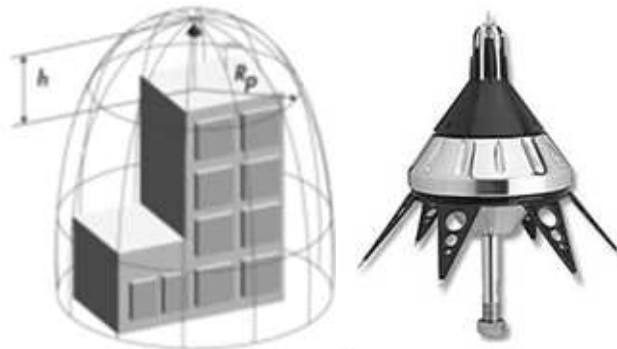


Figura 6.5 Pararrayos Prevetron 2 S6.60

Mediante la siguiente fórmula se puede determinar el radio de protección de la punta.

$$R_p = \sqrt{(h(2D - h)) + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h > 5[m] \quad (6.9)$$

Donde

D 20, 45 o 60 en función del nivel de protección requerido.

h Altura real del PREVECTRON 2 arriba de la superficie a proteger.

ΔL $10^6 \Delta T$

Como se puede observar de la tabla 6.5, se tiene un radio de 120 m de protección por cada una de las puntas ya que usara el modelo S6.60 con una altura de nuestra torre de 60m máximo. Por todo lo anterior y por su capacidad de protección, se decidió elegir este tipo de pararrayo por que en el estadio no solo se debe proteger al equipo instalado, sino también a los asistentes del estadio, además esta punta y sus cálculos están basados en la norma mexicana antes mencionada y en la norma francesa NFC17-102.

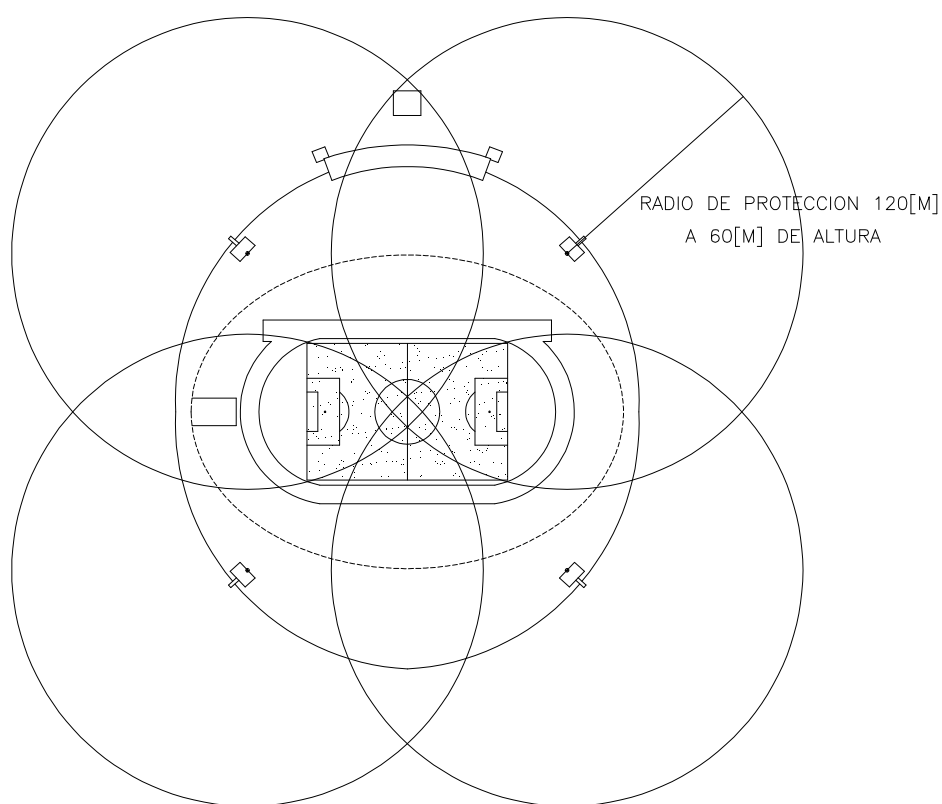


Figura 6.6 Zona protegida con 4 pararrayos Prevetron 2 S6.60

Observando que la zona del EOU queda protegida en su totalidad contra descargas eléctricas.

Finalmente, la norma indica que cuando la altura de la estructura está entre 20m y 60m deben instalarse, adicionalmente a las terminales aéreas a nivel techo,

conductores horizontales alrededor del edificio formando lazos cerrados a cada 20m de altura como se indica en la figura 6.7.

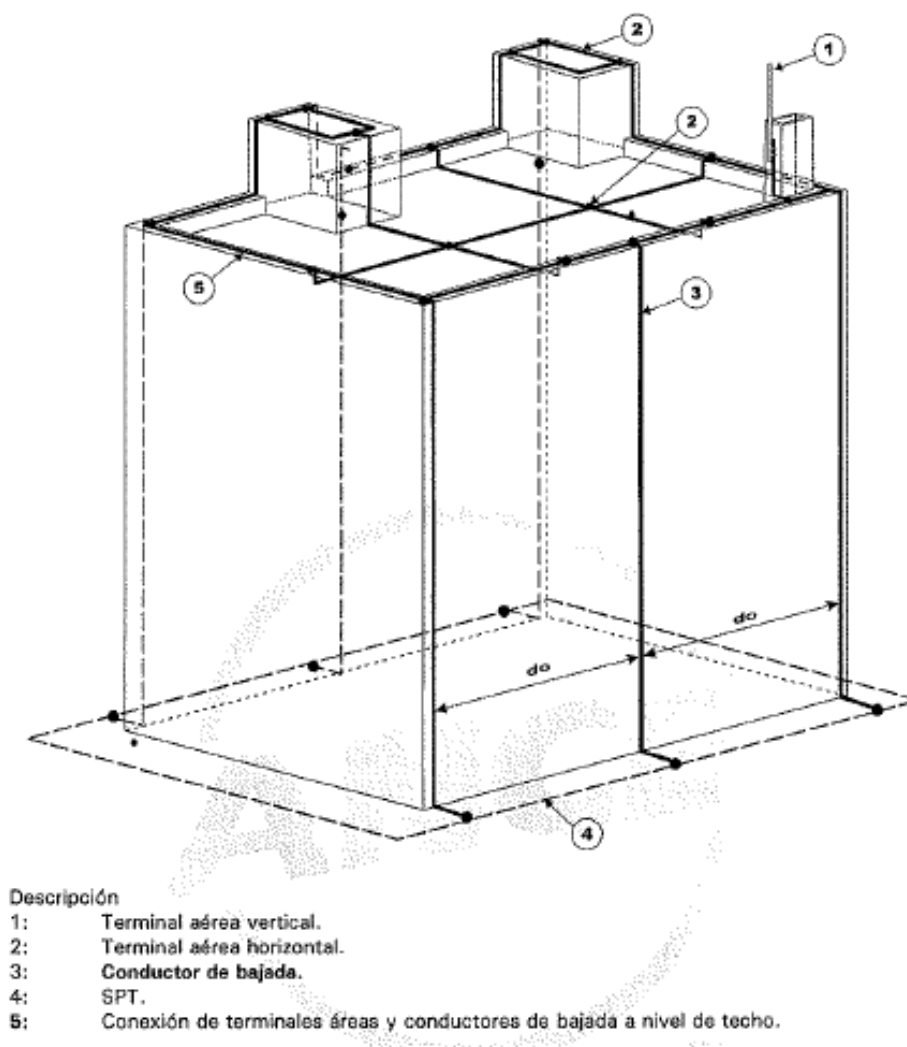


Figura 6.7 Arreglo físico de la conexión entre terminales aéreas, conductores de bajada y SPT en un edificio con diferentes alturas en el techo para un sistema no aislado de protección.

En este caso la estructura de acero de las torres del EOU serán utilizadas como puntas naturales, esto nos ayudara a omitir los conductores horizontales en el techo de nuestra estructura, tomando en cuenta que nuestra estructura es continua.

El siguiente aspecto en el diseño son los conductores de bajada; los cuales pueden ser:

- Una solera
- Una barra redonda
- Un cable
- Una componente natural (acero estructural o de refuerzo)

Para el diseño de un SEPTE los conductores de bajada deben de cumplir con lo siguiente según la norma NMX-J-549-ANCE-2005:

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

En un SEPTE no aislado, las terminales aéreas y los conductores de bajada deben estar conectados a nivel techo y a nivel suelo, como se menciona anteriormente, pero cumpliendo con las siguientes especificaciones:

- Si el sistema está formado por una sola Terminal aérea, debe utilizarse dos o más conductores de bajada.
- Si el sistema está formado por conductores horizontales debe atizarle dos o más conductores de bajada.
- Los conductores de bajada deben de estar distribuidos de acuerdo con la tabla 6.6.

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

Tabla 6.6 Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección NOM NMXJ-549-ANCE-2005

- Si la pared de la estructura está hecha con material inflamable, los conductores de bajada deben colocarse a una distancia mayor a 0.1 m del elemento a proteger.
- El radio de curvatura para conductores de bajada en cambios de dirección no debe exceder los 200mm.

Con lo todo lo anterior, se puede resumir que para el diseño sólo es necesario cumplir con la medida de nuestro conductor de bajada, ya que en el sistema no se encuentran conductores horizontales por el material de nuestra estructura como se había mencionado, ni mucho menos alguna de las acepciones mencionadas; así que dichos conductores son desnudos de cobre de 16 mm² tal y como indica la norma en la tabla 6.7.

MATERIAL	Conductor de bajada mm²
ACERO	50
COBRE	16
ALUMINIO	25

Tabla 6.7 Dimensiones mínimas de los conductores de bajada

La siguiente parte de nuestro SEPTTE es el Sistema de Puesta a Tierra (SPT); el cual, debe utilizarse para minimizar los potenciales de paso y contacto para reducir riesgos de electrocución y la formación de arcos laterales entre partes metálicas

que pongan en peligro a las personas y al equipo en la trayectoria de los conductores de bajada.

El SPT debe integrar, incluir e interconectar a todos los sistemas dentro de la instalación como son: SPTE, sistemas de energía eléctrica, etc (unión equipotencial). Con el fin de mantener la elevación de potencial del SPT a niveles seguros, se recomienda que el valor de resistencia a tierra se mantenga en niveles no mayores a 10Ω .

Los elementos que integran un SPT son:

- Electrodo de puesta a tierra
- Conductores desnudos para unir los electrodos en caso de ser varios
- Conexiones soldables
- Registros

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

1. Ser metálico
2. Tener una baja resistencia a tierra
3. Sus componentes no deben tener elementos contaminantes al medio ambiente.

Los formados por varios elementos metálicos, estos deben estar unidos por medio de soldadura.

Dentro de los electrodos de puesta a tierra más comunes se tienen:

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

- Pero cumpliendo siempre con la siguiente especificación de la norma mexicana.

Material	configuración y dimensiones nominales mínimas	
Cobre	Cilíndrico solidó	53.3 mm ²
	Cintilla	25mm X 1.5mm
	Tubo	Diámetro interior 13mm Espesor de pared mínimo 1.8mm
	Placa plana	500mm X 500mm espesor mínimo 1.52mm
	Lamina	0.25mm ² Espesor mínimo 0.711mm
	Cable trenzado	53.5mm ²
Acero	Tubo galvanizado	Diámetro interior 19mm Espesor mínimo de pared 2.71mm Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm
	Placa plana galvanizada	Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm
	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14.3 X 15.5mm Espesor mínimo del recubrimiento 0.254mm
	Varilla galvanizada	Diámetro mínimo de 13mm y máximo de 25mm Espesor de recubrimiento 0.086mm
Acero inoxidable	Cintilla o solera	Diámetro de 14.3mm mínimo y 15.5 mm máximo
	Placa plana	500mm X 500mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm
	Lamina	0.25mm ² Espesor mínimo 1.245mm de la lamina

Tabla 6.8 Materiales y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de Puesta a Tierra

Para el diseño se deben tomar en cuenta varios factores como son: La resistividad del terreno, el área disponible, elementos enterrados que obstruyan como rocas y la agresividad del suelo sobre los materiales (corrosión).

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la resistividad del suelo de Ciudad Universitario es alta ya que está constituido principalmente de roca y, según las medidas tomadas (registradas en el capítulo 3), se tiene un valor promedio de 160 [$\Omega \cdot m$] por ello, basándonos en la Norma Universitaria que indica que si se desea usar electrodos tipo rehilete, éstos se usarán en terrenos donde no sea posible clavar la varilla en excavaciones especiales para ellos; dicho rehilete se colocará en el fondo de la excavación, es muy importante que la excavación sea tapada con tierra con las mejores condiciones de conductividad, al máximo grado de compactación posible.

Este rehilete estará ubicado donde se logre la dispersión fácil de la descarga del terreno con una profundidad de 1.5 a 2 metros; para éstas condiciones se ha propuesto realizar ésta excavación en una plancha ubicada afuera de la subestación; ya que además se debe tomar en cuenta que por norma Universitaria y Mexicana debe instalarse el electrodo mínimo a 7 metros del conductor de bajada. Ahora bien, dicho electrodo está formado por dos placas metálicas soldadas a una varilla de cobre de $\frac{1}{2}$ " de diámetro que forman una cruz, por su alta conductividad eléctrica y térmica, por ser inatacable e inerte frente a los agentes químicos, es el elemento ideal para construir un electrodo de toma de tierra. (Véase figura 6.8)

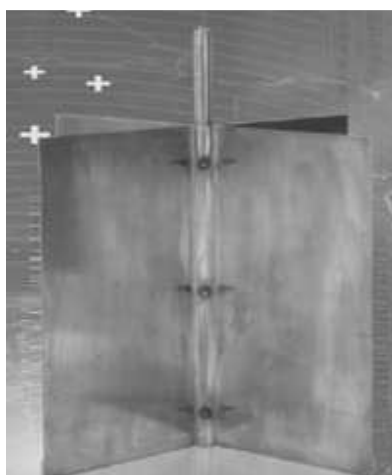


Figura 6.8 Electrodo tipo rehilete

Ahora presentamos las especificaciones de este tipo de electrodo:

- Altura Total 70 cm
- Ancho de la hoja 30 cm
- Largo de la hoja 40 cm
- Resistencia teórica 2,5 Ω
- Resistencia empírica 2,0 a 4,0 Ω
- Grosor de la hoja Calibre 22 (0.71 cm)
- Peso 1.2 Kgs

Tiene una Terminal de conexión, varilla de cobre de ½" de diámetro (12.7 mm).

Para su mayor entendimiento en la siguiente figura se observa el diagrama físico de cómo se realizará la conexión e instalación del SPT.

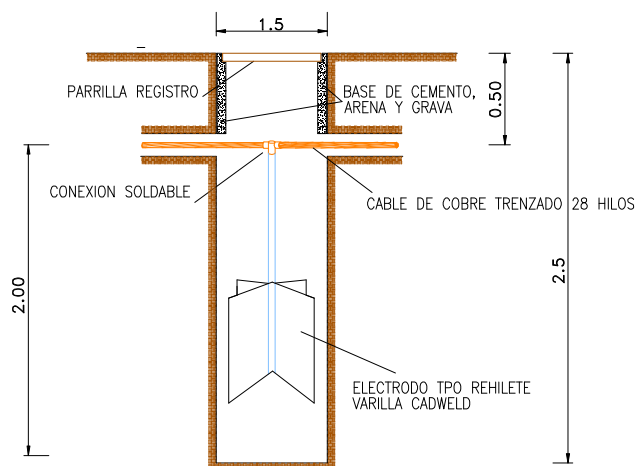


Figura 6.9 Instalación del SPT.

Como se mencionó en un principio, la Norma Mexicana toma en cuenta que el SPTE consta de 2 partes, un SEPTE y un SIPTE; una vez diseñado el SEPTE, se enfocará al diseño y especificaciones del SIPTE, para ello, es imprescindible hablar de Unión Equipotencial (UE), ya que el diseño se enfoca totalmente de este aspecto. La unión equipotencial es un procedimiento de control y seguridad

mediante el cual se logra la igualación de los potenciales de todos o parte de los elementos metálicos de una instalación; esta igualación de los potenciales se efectúa mediante la conexión física a un punto común. Cabe mencionar que una vez lograda la unión equipotencial a un punto común, debe realizarse una conexión entre dicho punto y la red del SPT de la instalación.

Los elementos que integran la Unión Equipotencial son:

- Conductores de unión: se utilizan para interconectar dos partes metálicas. La longitud de estos conductores deben ser lo más corta posible.
- Barras de unión: se utilizan para interconectar, mediante los conductores de unión, elementos metálicos de diversos sistemas de energía (eléctrica, telecomunicaciones, gas, agua, etc.), así como los elementos estructurales metálicos de la instalación a un solo punto de unión.
- Supresores de Sobretensiones Transitorias (SSTT): estos supresores se utilizan en los dos casos siguientes: 1) para protección de equipo eléctrico o electrónico sensible y 2) donde no se permite el uso de conductores de unión, como por ejemplo en la unión de dos piezas metálicas aisladas entre sí en tuberías de gas y por restricciones del sistema de protección catódica.

En este caso no se hará uso de SSTT, ya que no se cuenta en la subestación de las torres con Elio electrónico sensible ni con tuberías de gas y agua.

Finalmente,, para terminar con el diseño, se ilustra en la figura 6.10 un arreglo conceptual de la UE a nivel interno en donde las barras de unión deben interconectarse entre sí, sin formar lazos cerrados y conectados firmemente a la barra de unión principal y esta al SPT.

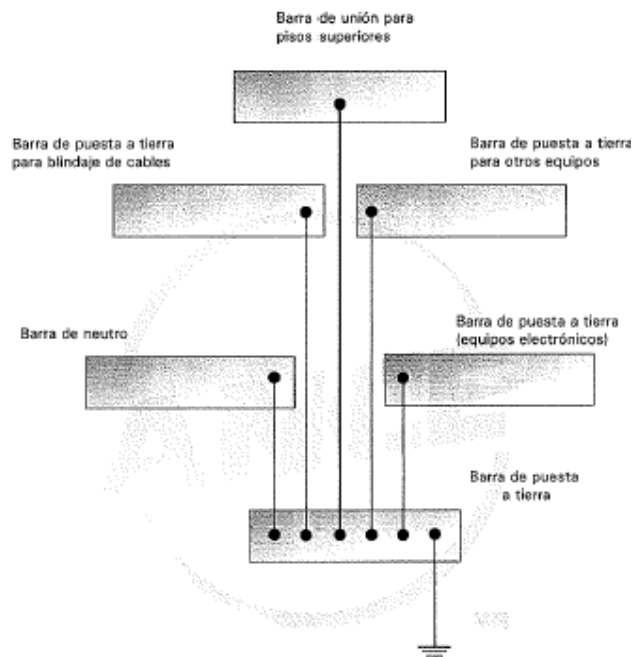


Figura 6.10 Arreglo de la UE a nivel interno.

Así es como queda integrado de manera definitiva el Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas para la protección de las estructuras y de los asistentes al estadio.