



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA-ELÉCTRICA

**PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS PARA UN EDIFICIO
PÚBLICO, APLICANDO EL MÉTODO
ELECTROGEOMÉTRICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO-ELÉCTRICO

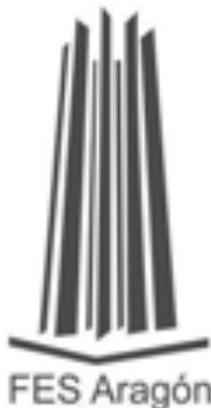
P R E S E N T A

S A Ú L C R U Z M I G U E L

DIRECTOR DE TESIS

ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO

MÉXICO, D.F. JULIO 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



AGRADECIMIENTOS

Con esta obra agradeceré a Dios por ser un sendero que forjo en mí responsabilidad para poder alcanzar el umbral de la metas que me propuse al iniciar esta profesión; por esto tendré los suficientes ánimos para salir adelante y poder retribuir con aportes a mi país.

Este homenaje, de la misma forma, lo comparto y lo dedico a todos los que han sido parte en el camino de mi vida, en especial a los que, desde mi corta edad, dedicaron parte de su tiempo y esfuerzo a apoyarme para ofrecerme una educación –hablo de mis hermanas María Elena y Blanca Estela Cruz Miguel - quienes sembraron en mí, principios, coraje y las armas necesarias para andar en la vida; a mi madre por brindarme la vida y profesarme el valor y cultura del trabajo. Por último a mi amada esposa – Cindy Evelina Hernández Guerrero - que con el cariño, que solo una mujer sabe ofrecer, supo fomentarme los ánimos para finiquitar la meta de mi grado así como hacer esplendidos cada día de mi existencia.

En cada una de estas líneas está implícito mi agradecimiento con todas estas personas, los cuales de expresarlos - solamente ellas - ocuparían un tomo completo. Por lo que concluiré pidiendo a Dios que los bendiga en cada momento de la vida.

Saúl Cruz Miguel
De la gloria FES Aragón
Universidad Nacional Autónoma de México



ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

| | |
|---|--------|
| CAPITULO 1. DESCARGAS ATMOSFERICAS-RAYOS | pag. 1 |
| 1.1 CONOCIENDO AL FENÓMENO RAYO | pag. 2 |
| 1.2 COMO SE GENERA EL RAYO | pag. 3 |
| 1.3 TIPOS DE RAYOS | pag. 4 |
| 1.4 TIPOS DE RAYOS MÁS CONOCIDOS | pag. 4 |
| 1.4.1 RAYO NUBE-TIERRA | pag. 4 |
| 1.4.2 RAYO PERLA | pag. 5 |
| 1.4.3 RAYO STACCATO | pag. 5 |
| 1.4.4 RAYO BIFURCADO | pag. 5 |
| 1.4.5 RAYO TIERRA-NUBE | pag. 5 |
| 1.4.6 RAYO NUBE-NUBE | pag. 6 |
| 1.5 DAÑOS QUE CAUSA EL RAYO | pag. 6 |
| 1.5.1 DAÑOS EN ARBOLES | pag. 7 |
| 1.5.2 TRANSPORTE AEREO | pag. 7 |
| 1.5.3 INCENDIOS | pag. 8 |
| 1.5.4 EQUIPO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO | pag. 8 |
| 1.5.5 ALCANZADO POR UN RAYO | pag. 8 |
| 1.5.6 MITOS Y VERDADES | pag. 9 |
| 1.6 TIPOS DE PROTECCIÓN PARA LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.11 |
| 1.6.1.1 CABLES DE GUARDA | pag.12 |
| 1.6.1.2 PARARRAYOS FARADAY | pag.13 |
| 1.7 NORMAS | pag.14 |
| | |
| CAPITULO 2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS | pag.15 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | pag.15 |
| 2.2 NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.16 |
| 2.3 MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.18 |
| 2.3.1 MÉTODO FRANKLIN | pag.18 |



| | | |
|--|--|--------|
| 2.3.2 | MÉTODO FARADAY | pag.21 |
| 2.3.3 | MÉTODO ELECTROGEOMÉTRICO | pag.23 |
| CAPITULO 3 NORMATIVIDAD EN MÉXICO EN PROTECCIÓN CONTRA | | |
| | DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.26 |
| 3.1 | NMX-J-549 ANCE 2005, SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA | |
| | TORMENTAS ELÉCTRICAS- ESPECIFICACIONES, MATERIALES | |
| | Y MÉTODOS DE MEDICIÓN | pag.26 |
| 3.1.1 | VALORACIÓN DE RIESGO | pag.26 |
| 3.1.1.1. | FRECUENCIA DE RAYO DIRECTO A UNA | |
| | ESTRUCTURA | pag.26 |
| 3.1.1.2 | MAPA DEL PROMEDIO ANUAL DE DENSIDAD | |
| | DE RAYOS A TIERRA | pag.27 |
| 3.1.1.3 | FRECUENCIA ANUAL PERMITIDA DE RAYOS | |
| | DIRECTOS A UNA ESTRUCTURA | pag.27 |
| 3.1.1.4 | ÁREA EQUIVALENTE DE CAPTURA | pag.28 |
| 3.1.1.5 | EVALUACIÓN DE NECESIDAD DE PROTECCIÓN | pag.29 |
| 3.1.2 | DISEÑO DE UN SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN | |
| | CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS (SEPTE) | pag.29 |
| 3.1.2.1 | TERMINALES AÉREAS | pag.29 |
| 3.1.2.1.1 | NÚMERO Y UBICACIÓN DE | |
| | LAS TERMINALES | pag.30 |
| 3.1.2.2 | CONDUCTORES DE BAJADA | pag.31 |
| 3.1.2.2.1 | REQUISITOS | pag.31 |
| 3.1.2.2.2 | CONDUCTORES DE BAJADA | |
| | NATURALES | pag.31 |
| 3.1.2.2.3 | TRAYECTORIA DE LOS CONDUCTORES | |
| | DE BAJADA Y RADIOS DE CURVATURA | pag.32 |
| 3.1.2.2.4 | CONDUCTORES DE BAJA PARA UN SIS- | |
| | TEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN NO | |
| | AISLADA | pag.34 |
| 3.1.2.2.5 | DISTANCIA DE SEGURIDAD | pag.36 |
| 3.1.2.3 | SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT) | pag.37 |
| 3.1.2.3.1 | ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA | pag.38 |
| 3.1.2.3.2 | FACTORES PARA EL DISEÑO E INSTA- | |



| | |
|---|--------|
| LACIÓN DEL SPT | pag.39 |
| 3.1.2.3.3 MÉTODO PRÁCTICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE UN SPT | pag.42 |
| 3.1.2.3.4 RESISTENCIA A TIERRA | pag.43 |
| 3.1.2.3.5 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA EN SUELOS DE ALTA RESISTIVIDAD | pag.43 |
| 3.1.2.3.6 REDUCCIÓN DEL PELIGRO DE CHOQUE ELÉCTRICO | pag.44 |
| 3.2 NMX-J-603 ANCE 2008, GUÍA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS | pag.45 |
| 3.2.1 MEMORIA TÉCNICA | pag.45 |
| 3.2.2 MEDICIONES | pag.46 |
| 3.2.3 PLANOS DE INGENIERÍA | pag.47 |
| 3.2.4 INSTALACIÓN | pag.47 |
| 3.3 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.48 |
| 3.3.1 METODOLOGÍA DEL SEPTE | pag.49 |
| 3.3.1.1. VALORACIÓN DE RIESGO | pag.50 |
| 3.3.1.2. SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS (SEPTE) | pag.50 |
| | |
| CAPITULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (ESTUDIO DE CASOS) | pag.50 |
| 4.1 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL EDIFICIO PÚBLICO | pag.50 |
| 4.2 INSPECCIÓN EN SITIO DEL EDIFICIO PÚBLICO | pag.51 |
| 4.3 CALCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.52 |
| 4.3.1 VALORACIÓN DE RIESGO | pag.52 |
| 4.3.1.1 ÁREA EQUIVALENTE DE CAPTURA | pag.52 |
| 4.3.1.2 FRECUENCIA ESPERADA DE IMPACTO DIRECTO A LA ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DE OFICINA | pag.54 |
| 4.3.1.3 EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DEL SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS | pag.55 |



| | |
|--|--------|
| 4.3.2 SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN | pag.56 |
| 4.3.2.1 DISTANCIA DE SEGURIDAD PARA LOS CONDUCTORES DE BAJADA | pag.56 |
| 4.3.2.2 RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT) | pag.57 |
| 4.4 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.58 |
| 4.4.1 VALORACIÓN DE RIESGO | pag.58 |
| 4.4.2 SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMEN- TAS ELÉCTRICAS | pag.58 |
| 4.4.2.1 TERMINALES AÉREAS DE INSPECCIÓN | pag.58 |
| 4.4.2.2 CONDUCTORES DE BAJADA | pag.69 |
| 4.4.2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA | pag.70 |
| 4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.71 |
| | |
| CAPITULO 5 ELEMENTO ADICIONAL Y MANTENIMIENTO AL SPT | pag.72 |
| 5.1 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DEL SEPTE | pag.73 |
| | |
| CAPITULO 6 COSTOS | pag.77 |
| 6.1 COSTOS ESTIMADOS DE INGENIERÍA Y MANO DE OBRA | pag.77 |
| 6.2 COSTOS ESTIMADOS DE MATERIALES UTILIZADOS | pag.77 |
| 6.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS ADICIONALES | pag.78 |
| 6.4 ESTIMACIÓN DE COSTO TOTAL DEL PROYECTO | pag.78 |
| 6.5 COSTOS ESTIMADOS DE REPARACIÓN O SUSTITUCIÓN DE EQUIPOS BÁSICOS DENTRO DE UNA OFICINA, DAÑADO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS | pag.78 |
| 6.6 ESTIMACIÓN DEL COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO | pag.79 |
| | |
| CONCLUSIONES | pag.80 |
| | |
| FUENTES DE CONSULTA | pag.81 |



| | |
|--|---------|
| ANEXO A GLOSARIO DE DEFINICIONES | pag.82 |
| ANEXO B MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO | pag.86 |
| ANEXO C DISEÑO DEL SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN (SIPTÉ) | pag.92 |
| ANEXO D SALARIOS ESTABLECIDOS POR SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL | pag.97 |
| ANEXO E FICHA TÉCNICA DE INTENSIDAD DE TIERRA TIPO GEM | pag.98 |
| ANEXO F VALORES ESPERADOS DE LA REDUCCIÓN PARA LA RESISTENCIA A TIERRA DE LAS SIGUIENTES CONFIGURACIONES DE ELECTRODOS | pag.101 |



RESUMEN

Se realizó el diseño, como una iniciativa de propuesta, de un sistema de protección contra descargas atmosféricas aplicado a un edificio público, propiedad del Servicio de Administración Tributaria (SAT), localizado en la Delegación Iztacalco en el Distrito Federal. Este diseño se hizo conforme a las normas mexicanas: la NMX-J-549 ANCE 2005 Sistema de Protección Contra Tormentas Eléctricas; Especificaciones, Materiales y métodos de medición y la NMX-J-603 ANCE 2008 Guía de Aplicación del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas.

En este proyecto además de exponer los puntos que las normas mexicanas mencionan con respecto a la protección tanto de seres vivos como del inmueble, se explica por medio de un caso práctico la aplicación de los conceptos básicos que estas normas enmarcan. En la actualidad, la cantidad de energía de las descargas atmosféricas produce daños irreparables en los circuitos integrados y en casos extremos, los rayos pueden producir incendios y pérdidas de vidas. Para una protección completa se debe instalar junto con el sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE), el sistema interno de protección contra tormentas eléctricas (SIPTE), solo si un estudio avalado lo determina.

El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas constara de 7 terminales aéreas de cobre de 35mm^2 , unidas equipotencialmente por medio de una solera de acero al carbón galvanizada de 0.25 pulgadas de espesor por 1 pulgada de ancho. Estas son las encargadas de recibir la descarga atmosférica y llevarla hasta tierra de una forma segura por medio de diez conductores de baja resistencia de cobre de 16mm^2 , unidos equipotencialmente a 15 m de altura del edificio, estos son conectados entre las terminales aéreas y los electrodos de puesta a tierra. Los diez electrodos puesta a tierra de cobre de 53.5mm^2 , tienen un arreglo doble en paralelo y serán instalados de forma vertical, estos son responsables de la dispersión de la corriente eléctrica en el suelo.

La intención de esta propuesta, es realizar una comparación del costo- beneficio que se puede obtener si se adopta la instalación de un SEPTE.

El costo del proyecto es minoritario comparado con el costo de los daños causados por la caída de una descarga atmosférica, entiéndanse estos como la reparación de los equipos dañados y aumentando si existe la necesidad de comprar los equipos nuevos dentro de un edificio de oficinas, sin mencionar los daños que pueden ser causados a la integridad física de las personas que laboran en éste. Por lo que se considera que es prudente y conveniente la instalación del proyecto para evitar los tiempos perdidos por la ausencia de los equipos dañados hasta que estos se reparen o repongan en su totalidad.



INTRODUCCIÓN

Debido a la incorporación de los microprocesadores a los sistemas eléctricos y el uso diario y frecuente de equipos electrónicos, es necesario el estudio e instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas debido a que estas ocurren con diferentes intensidades. El sistema de protección debe atraer al rayo y canalizar las corrientes hacia tierra, para garantizar la seguridad del equipo y continuidad de energía para el usuario en general. Por este motivo, se pretende instalar en el edificio un sistema de protección contra descargas atmosféricas que sirva para limitar un sobre potencial transitorio en un equipo eléctrico o electrónico; derivando a tierra la corriente transitoria asociada a la onda de potencial. La protección contra estas descargas es tan compleja que va más allá de la instalación de un pararrayos o de un circuito de protección.

Las descargas atmosféricas generan ondas eléctricas que alteran y dañan el funcionamiento de sistemas eléctricos y electrónicos presentes en los edificios de oficina; por lo tanto, es necesario contar con un sistema de protección diseñado adecuadamente que pueda contrarrestar en su totalidad los efectos de estas descargas. Una descarga atmosférica puede tener consecuencias catastrófica para los equipos eléctricos y electrónicos, seres vivos, estructuras metálicas, edificios y sobre todo en las viviendas cuando se encuentran materiales inflamables como son: gas, alcohol, fósforos, insecticidas y acetonas, ya que pueden ocasionar incendios y en consecuencia pérdidas económicas.

Los efectos directos de una descarga atmosférica son la destrucción física causada por el impacto. Cuando cae una descarga atmosférica en la instalación de un edificio siempre busca el camino a tierra de menor impedancia como son: líneas de conexión del suministro de energía eléctrica, líneas de conexión de teléfonos, fax, módems, televisión, tuberías, estructuras metálicas de los edificios o raíces de los arboles; por donde circular hasta tierra. Si el conductor tiene algunos equipos eléctricos conectados y estos son alcanzados por esa corriente serán dañados o destruidos, por lo que es necesario que los equipos estén bien protegidos contra este tipo de descargas.

En México la instalación de dispositivos no convencionales de protección contra tormentas eléctricas 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.

El sistema de protección contra descargas atmosféricas tiene como función interceptar la trayectoria de rayos y conducirlos a través de un conductor de baja resistencia, con el fin de que no se caliente y que no produzca niveles de tensiones elevados durante la descarga. Con tal fin, la instalación para protección contra rayos se debe iniciar con la colocación de una terminal aérea de captación, un conductor o cable de baja resistencia hacia tierra y un sistema de electrodos de puesta a tierra, que garantice una protección a los seres vivos, las estructuras metálicas, los equipos electrónicos y eléctricos que se encuentran en el edificio de oficinas. Lo anterior en base a la inspección del lugar donde se encuentra ubicado el edificio, un análisis, cálculo y desarrollo del sistema de protección contra tormentas eléctricas y revisión de las normas correspondientes.



El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de protección contra descargas atmosféricas para un inmueble de oficinas, aplicando la normatividad mexicana correspondiente, así como brindar seguridad a los seres vivos y proteger los bienes materiales en general. Este diseño se hará conforme a las normas mexicanas: la NMX-J-549 ANCE 2005 Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas - especificaciones, materiales y métodos de medición- y la NMX-J-603 ANCE 2008 Guía de aplicación del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas.

CAPITULO 1.- DESCARGAS ATMOSFÉRICAS-RAYOS



Existe un fenómeno en la naturaleza de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, al cual se le ha dado el nombre de “rayo”. Aparte de presentar interferencia en los sistemas electrónico, provocar incendios, asustar a las personas y entre otras muchas consecuencias, la más lamentable, es cuando un impacto directo golpea a una persona, provocando en los casos más atroces, la muerte de la misma.

Sea cual fuese la repercusión de este fenómeno, es lo que motivo al decimoquinto hijo de un total de diecisiete hermanos, llamado por sus padres “Benjamín Franklin”. Fue un político, científico e inventor estadounidense, considerado uno de los padres fundadores de los Estados Unidos de Norteamérica.

Franklin llevaba bastante tiempo dándole vueltas a la idea de que la electricidad de las tormentas provenía de una diferencia de potencial entre las nubes y el suelo. Las nubes al friccionar entre sí se cargaban negativamente con respecto a la superficie terrestre. Cuando la diferencia de cargas se hacía muy grande se producía una descarga, de duración muy breve, pero con potencia extrema, entre esas nubes y el suelo.

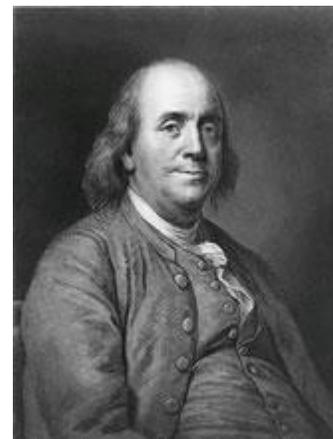
Franklin le estuvo dando vueltas a la idea de cómo demostrar esa idea, y sobre todo como poder evitar el efecto devastador de los rayos, responsables de gran cantidad de incendios en las ciudades estadounidenses recién fundadas.

Observó una descarga producida por una botella: era una chispa y un chasquido con una increíble semejanza a un rayo y el trueno, solo que a menor escala.

¿Podía el cielo y la tierra comportarse como una botella de Lyden que se descarga a través de los rayos? Para averiguarlo planeó un experimento. Remontó un barrilete en una tormenta. El hilo mojado para conducir la electricidad, el barrilete con una punta metálica y una llave cerca del extremo que sostenía Franklin. Él sujetaba todo con un tramo de hilo seco.

La llave se cargó eléctricamente y soltaba chispas al acercársele la mano. Las fibras del hilo se erizaban por la estática, y hasta pudo cargar así una botella de Lyden. No había caído ningún rayo sobre la cometa, sino que manifestaba una corriente, fruto de la diferencia de tensión entre el cielo y la tierra. Había demostrado que tanto las descargas que se producían en una botella de Lyden como las de una tormenta eran fenómenos de la misma naturaleza.

En 1752 Benjamín Franklin publicó en su famoso Almanaque del Pobre Richard (Poor Richard's Almanac) una aplicación interesante para este fenómeno. Propuso la idea de utilizar el efecto punta (que descargaba rápidamente una botella de Lyden) para protegernos de la caída de los rayos. Nació así el pararrayos.



De esta forma presentó la llamada teoría del fluido único para explicar los dos tipos de electricidad atmosférica, la positiva y negativa. Franklin se imaginó la electricidad como un fluido invisible. El aseguraba que si un cuerpo cualquiera tenía más fluido de lo normal, este cuerpo tendría carga positiva, si por el contrario el cuerpo tenía menos fluido de lo normal tenía carga negativa.

Poco tiempo después todos los edificios que tenían una altura respetable empezaron a colocar pararrayos en sus tejados. ¿Todos? Pues no. Al principio las iglesias se negaron a hacerlo. No aceptaron las tesis de Franklin, aduciendo que los rayos eran una voluntad de Dios contra la que el hombre poco podía hacer. Unas cuantas tormentas después y unas cuantas iglesias quemadas más tarde como consecuencia de esa “voluntad divina” fomento que los pastores empezaron a aceptar que la electricidad de las nubes eran las responsables de los rayos y empezaron a decorar los tejados de sus templos con los protectores pararrayos. De nuevo el miedo a que la ciencia les quitara protagonismo hizo que los líderes religiosos rechazaran lo evidente.

Desde entonces el Pararrayos ha evolucionado con diferentes tecnologías, unos, manteniendo el principio de ionización por efecto punta a partir de un campo eléctrico natural.

1.1.- CONOCIENDO AL FENÓMENO RAYO



Todos sabemos cuan nefastas pueden ser las consecuencias de las descargas atmosféricas (rayos). En todos los tiempos el hombre con justificada razón ha sentido un enorme temor por este fenómeno natural.

La chispa eléctrica que llega a tierra (TN), recibe el nombre de rayo, mientras que, la chispa que va de una nube a otra (NN), se llama relámpago, aunque normalmente los dos son usados como

sinónimos del mismo fenómeno. La aparición del rayo es sólo momentánea, seguida a los pocos momentos por un trueno.

En realidad, el rayo es una enorme chispa o corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra. El rayo puede cruzar kilómetros de distancia y se origina en un tipo de nube llamada cumulonimbus nube de tormenta (los cumulonimbus son nubes de gran extensión vertical que se caracterizan por la generación de lluvias, a menudo superan los 10 Km de altura, dentro de estas, es frecuente encontrar fuertes corrientes de aire, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la de congelación, cristales de hielo y granizos)

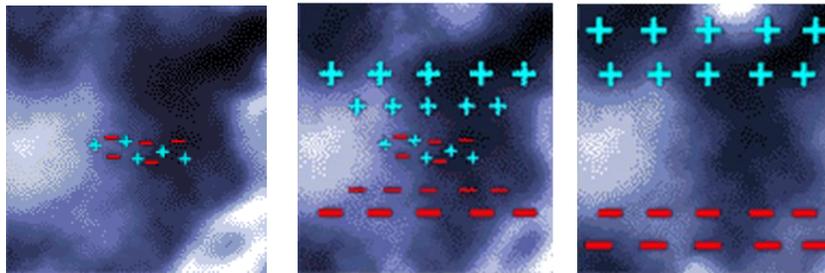
El rayo es uno de los fenómenos más peligrosos de la atmósfera y dura unos pocos segundos, es siempre brillante y casi nunca sigue una línea recta para llegar al suelo o quedarse suspendido en el aire, adoptando formas parecidas a las raíces de un árbol.

En conclusión, un rayo es como un corto circuito entre una nube y la tierra, un fenómeno de la naturaleza imprevisible y aleatorio que ocurre cuando la energía acumulada en una nube alcanza un valor crítico y rompe la rigidez dieléctrica del aire.

1.2.- COMO SE GENERA EL RAYO.

La nube de tormenta de tipo cúmulo-nimbus es la fuente de la producción de los rayos.

Las turbulencias atmosféricas engendran una separación de las cargas positivas (parte superior) y negativas (parte inferior de la nube). Cuando se alcanza el límite disruptivo, esta separación provoca descargas eléctricas ya sea entre nubes (relámpagos) o bien entre la nube y el suelo (rayos).



1. Una predescarga (trazador) se escapa de la base de una nube.
2. La Progresión del trazador por saltos sucesivos se ramifica como ramas de árboles, cada una de ellas busca el camino más fácil (mejor conductividad) hacia el suelo.
3. Al acercarse al suelo, crece importantemente el campo eléctrico del suelo en la vertical del trazador.
4. Cuando se alcanza el umbral de ionización del aire unos efluvios (pequeñas ramas ascendentes) se escapan del suelo o de las estructuras (casas, arboles) y que pueden transformarse en descargas ascendentes positivas.
5. El efluvio más cercano y que avanza más rápido se une al trazador: establecimiento del canal ionizado. Allí desaparecen las demás ramificaciones quedando un solo canal.
6. Subida de las cargas de polaridad contrarias al suelo (return stroke) hacia la nube:
fenómeno luminoso.
En el espacio de 0,2 a 1 segundo, se pueden intercambiar varios arcos en retorno (rayos), con una velocidad de propagación del orden de 10^6 m/s.



1.3.- TIPOS DE RAYOS

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural producida durante una tormenta eléctrica; generando un "pulso electromagnético". La descarga eléctrica precipitada del rayo es acompañada por la emisión de luz (el relámpago), causada por el paso de corriente eléctrica que ioniza las moléculas de aire, y por el sonido del trueno, desarrollado por la onda de choque. La electricidad (corriente eléctrica) que pasa a través de la atmósfera caliente y expande rápidamente el aire, produciendo el ruido característico del trueno. Los rayos se encuentran en estado plasmático. Generalmente, los rayos son producidos por partículas positivas por la tierra y negativas a partir de nubes de desarrollo vertical llamadas cumulonimbus. Cuando un cumulonimbo alcanza la tropopausa, las cargas positivas de la nube atraen a las cargas negativas, causando un relámpago o rayo. Esto produce un efecto de ida y vuelta; se refiere a que al subir las partículas instantáneamente regresan causando la visión de que los rayos bajan. Un rayo puede generar una potencia instantánea de 1 gigawatio (mil millones de vatios), pudiendo ser comparable a la de una explosión nuclear.



1.4.- TIPOS DE RAYOS MÁS CONOCIDOS.

1.4.1-RAYO NUBE-TIERRA

El rayo nube a tierra es una descarga entre una nube cumulonimbus y la tierra. Comienza con un trazo inicial que se mueve desde la nube hacia abajo.



Cuando la nube de tormenta se halla a cierta distancia de un ser viviente, influye sobre la electricidad de su cuerpo. Al llegar el momento crítico en la nube y producirse la chispa de descarga, la influencia de la nube sobre la persona o animal, da lugar a una pequeña descarga que ocasiona la muerte. Este fenómeno se conoce como choque o golpe eléctrico.

1.4.2.- RAYO PERLA

El Rayo perla es un tipo de rayo de nube a tierra que parece romper en una cadena de secciones cortas, brillantes, que duran más que una descarga habitual. Es relativamente raro. Se han propuesto varias teorías para explicarlo; una es que el observador ve porciones del final de canal de relámpago, y que estas partes parecen especialmente brillantes. Otra es que, en el rayo cordón, el ancho del canal varía; como el canal de relámpago se enfría y se desvanece, las secciones más amplias se enfrían más lentamente y permanecen aún visibles, pareciendo una cadena de perlas y raramente se elevan en el cielo esparciendo una luz a lo largo del rayo.

1.4.3.- RAYO STACCATO

Rayo Staccato es un rayo de nube a tierra, con un trazo de corta duración que aparece como un único flash muy brillante y a menudo tiene ramificaciones considerables.

1.4.4.- RAYO BIFURCADO

Rayo bifurcado es un nombre, no uso formal, para rayos de nube a tierra que exhiben la ramificación de su ruta.

1.4.5.- RAYO TIERRA-NUBE

El rayo tierra a nube es una descarga entre la tierra y una nube cumulonimbus, que es iniciado por un trazo inicial ascendente, es mucho más raro que el rayo nube a tierra. Este tipo de rayo se forma cuando iones cargados negativamente, se elevan desde el suelo y se encuentran con iones cargados



positivamente en una nube cumulonimbus. Entonces el rayo vuelve a tierra como trazo.

1.4.6.- RAYO NUBE-NUBE



Este tipo de rayos pueden producirse entre las zonas de nube que no estén en contacto con el suelo. Cuando ocurre entre dos nubes separadas; es llamado rayo inter-nube y cuando se produce entre zonas de diferente potencial eléctrico, dentro de una sola nube, se denomina rayo intra-nube. El rayo Intra-nube es el tipo que ocurre con más frecuencia.

1.5.- DAÑOS QUE CUSA EL RAYO

Como no todas las descargas eléctricas tienen la misma potencia, las características de un rayo son diferentes.

Casi todas las descargas naturales de rayos se inician en el interior de las nubes y progresan en forma de árbol de diferentes ramas a tierra. Unas se compensan con cargas negativas y las otras con cargas positivas; en su trayectoria transportan corrientes eléctricas que pueden llegar como término medio de 30.000 Amperios a valores máximos superiores a los 300.000 Amperios durante millonésimas de segundo, con potenciales que se han llegado a estimar en valores que sobrepasaban los 15 millones de voltios y desprendiendo una energía térmica superior a los 8.000 grados.

Los rayos causan en todo el mundo daños valorados en miles de millones de dineros en la industria y numerosas muertes.

El daño que causa el rayo se debe en gran parte al calor que origina. Las chispas eléctricas provocan todos los años incendios alrededor de miles de kilómetros cuadrados de bosque, con lo consiguiente incendios de casas y haciendas, etc.

1.5.1.- DAÑOS EN ARBOLES.

Es un hecho - estar debajo de un árbol es uno de los lugares más peligrosos en medio de una tormenta. Y por una buena razón - los árboles son mejores conductores eléctricos que el aire y se elevan de la superficie de la tierra, transformándolos muchas veces en víctimas de golpes directos.



La electricidad busca el paso de menor resistencia, y la humedad (savia y agua) dentro del árbol son mucho mejores conductores que el aire. El resultado: el árbol proporciona un canal preferido por el rayo para llegar a destino (el suelo).

Cosas interesantes ocurren cuando un rayo golpea un árbol. Algunos árboles salen sin daños de golpes directos, mientras que otros reciben daños parciales como irreversibles. Como la muerte de un árbol.

Generalmente, el rayo hará una de las tres cosas siguientes cuando decida caer sobre un árbol:

Canal, ningún daño, y/o Destrucción completa.

Los rayos que descienden por el centro del árbol hacen que la humedad en su interior se convierta instantáneamente en gas, lo que causa la destrucción del árbol ya que éste explota.

1.5.2.- TRANSPORTE AÉREO



Los rayos nube-nube también pueden provocar daños y hasta accidentalmente hacer que despeguen cohetes. En 1987, un rayo impactó el cohete Atlas Centaur (que transportaba a un satélite de comunicación) en la plataforma de lanzamiento en Cabo Cañaveral en la Florida. La corriente eléctrica alteró la computadora de control de vuelo. Una vez en vuelo, la computadora provocó una vibración longitudinal, como el

movimiento de la cola de un pez, en la trompa y la cola del cohete, haciendo que el vehículo sin tripulación se rompiera en pedazos.

En 1969, el rayo más grande en la era de la exploración espacial puso en peligro la vida de tres astronautas del Apolo 12. Mientras su pequeña cápsula se elevaba en el espacio por encima de un cohete dirigido a Saturno, el relámpago destruyó instrumentos electrónicos vitales. Afortunadamente, los entrenados astronautas recuperaron el control.

1.5.3.- INCENDIOS

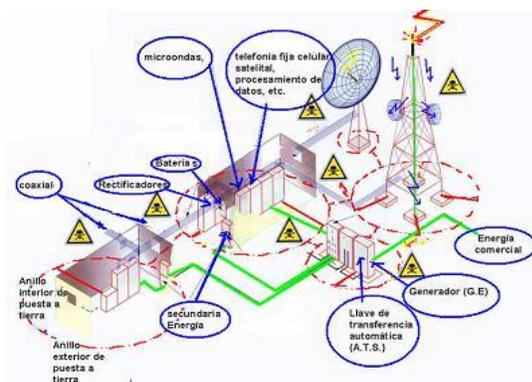
Los impactos de rayos no son las consecuencias más mortales de una tormenta eléctrica; las inundaciones repentinas a causa de fuertes lluvias matan a más personas. Sin embargo, los rayos nube-tierra generan incendios abrasadores, que representan otra grave amenaza a la propiedad y los seres vivos. En una misma tormenta, cientos y a veces miles de relámpagos, todos altamente cargados con energía termal y electromagnética, pueden ocasionar incendios generalizados. En junio de 2008, una tormenta inusualmente activa tomó por sorpresa a la zona norte de California en los Estados Unidos: los rayos desencadenaron 842 incendios, un récord estatal.



1.5.4.- EQUIPO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO.

Destrucción parcial de equipos electrónicos por arco eléctrico entre masas metálicas, destrucción parcial o total de equipos electrónicos por alta tensión en el suministro, destrucción parcial o total de equipos electrónicos por campos magnéticos variables, destrucción parcial o total de equipos eléctricos y electrónicos por radiación de alta frecuencia.

1.5.5.- ALCANZADO POR UN RAYO.



Recibir el impacto directo de un rayo es casi sinónimo de muerte, el cuerpo y sobretodo el cerebro no están preparados para las quemaduras que produce, el cuerpo aumenta repentinamente en un grado su temperatura y especialmente el cerebro se ve fuertemente afectado a ese cambio, de inmediato además se produce una parada cardiaca y casi siempre también una respiratoria debido al shock.

Resumimos los diferentes efectos que pueden ocasionar a las personas, si nos encontramos dentro de un radio de acción inferior a 120 metros del impacto.

Efectos físicos:

1. Quemaduras en la piel.
2. Rotura de tímpano
3. Lesiones en la retina
4. Caída al suelo por onda expansiva
5. Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera
6. Lesiones pulmonares y lesiones óseas
7. Estrés post-traumático
8. Muerte por:
 - Paro cardíaco
 - Paro respiratorio
 - Lesiones cerebrales

Existen una gran variedad de afectaciones por parte de estos fenómenos meteorológicos, mencionarlos no es el objeto de la presente obra por lo que nos limitaremos a señalar solamente a los de mayor magnitud. Seguido de este breviarío se agregaran algunas notas interesantes acerca de este fenómeno, para después entrar de lleno en la verdadera esencia de esta obra.



1.5.6.- MITOS Y VERDADES.

MITO 1: Los rayos solamente caen en objetos muy altos / los rayos caen siempre en el objeto más alto.

Verdad: La siguiente imagen es un zoom de una caída próxima:

Se puede ver claramente el rayo cayendo a 15m de un alto poste metálico de iluminación, el fotógrafo comenta que a 45m hay un edificio de oficinas. El rayo no siempre cae en el objeto más alto o mejor conductor.

Los rayos caen en los objetos más altos de un área particular. Por ejemplo, si hay un pequeño árbol solitario en un terreno amplio que a la vez está rodeado por árboles muy altos, el pequeño árbol está igualmente expuesto a recibir un rayo que los altos. Inclusive el

suelo entre ellos se encuentra expuesto a los rayos. Si Ud. está afuera en un campo rodeado por objetos altos, no asuma que está protegido de los rayos.

MITO 2: Los rayos siempre caen en buenos conductores como metales.

VERDAD: Asumir esto puede ser mortal. El rayo puede caer sobre cualquier material que esté en su camino. Es verdad que la corriente del rayo preferirá circular a través de buenos conductores, pero como dice el primer mito el rayo caerá a través del mejor conductor de un área específica. Por ejemplo si hay dos postes de igual altura uno metálico y otro de madera, si están lo suficientemente lejos uno del otro ambos tienen la misma posibilidad de ser golpeados por un rayo. Solo si están lo suficientemente cerca el rayo elegirá el poste metálico.

La diferencia de un rayo circulando por un buen conductor y por un mal conductor es que los buenos conductores sufren muy poco daño con el paso del rayo y los malos conductores resultan severamente dañados. Este concepto se puede claramente entender en las estufas eléctricas en las que la resistencia se pone al rojo vivo mientras que los cables que conectan el aparato a la pared se mantienen fríos, esto se debe a que los cables son mucho mejores conductores que la resistencia. Si el rayo cae sobre un mal conductor como la madera, el mismo fluirá sobre la superficie ocasionando poco daño o a través del material ocasionando resultados destructivos o explosivos. Esta es la razón por la cual algunos árboles son partidos en pedazos y otros tan solo les salta parte de la corteza.

MITO 3: El uso de joyería, zapatos con punteras metálicas o llevar elementos metálicos tales como trípodes, paraguas, palos de golf atraerán los rayos y me harán más susceptible a una descarga.

VERDAD: Los rayos ocurren en una tan grande escala como para ser influenciados por pequeños objetos del suelo. La única manera en que un pequeño objeto pudiera influenciar la trayectoria de un rayo es si el rayo ya estaba por caer a no más de dos metros del objeto nombrado.

El peligro de este mito que al asumir que paraguas, joyas, palos de golf, etc. nos ponen en peligro de golpe de rayo entonces se asume también que el no portarlos nos mantendrá a salvo de rayos.

La verdad es que es igualmente peligroso estar afuera durante una tormenta con o sin éstos elementos metálicos.

La única razón válida para no usar joyas es que en el caso de ser golpeado directamente por un rayo es que la corriente a través de estos metales los calienta tanto o incluso vaporiza

causando serias quemaduras. Francamente, en tal caso las quemaduras serán el menor de los problemas.

MITO 4: Los rayos no caen en el agua.

VERDAD: No solamente caen en el agua sino que pueden ser atraídos por grandes y profundas masas de agua. El agua es bastante buen conductor de electricidad, por eso lagos y ríos proveen mejores caminos de descarga que árboles o tierra seca.

Todos los años, mucha gente es alcanzada por rayos mientras nada o navega.

MITO 5: Zapatos con suela de goma o botas son aislantes por lo que me protegerán contra los rayos.

VERDAD: El aire también es aislante. Un rayo (en promedio) se ha abierto paso a través de kilómetros de aire, así que no va a ser frenado por centímetros de goma, ni por cientos de metros de goma. Gente que ha sido alcanzada por un rayo habitualmente sus zapatos le son arrancados al igual que la ropa por la potente onda expansiva producida por el rayo.

1.6.- TIPOS DE PROTECCION PARA LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

Las descargas atmosféricas son uno de los fenómenos naturales más espectaculares, impredecibles y destructores.

Las medidas de protección para los efectos de las descargas atmosféricas, son costosas, sin embargo, este costo debe de estar proporcional con la destrucción que se puede esperar si no se toma las precauciones debidas.

En los equipos electrónicos, la influencia de las sobre tensiones originadas por las descargas atmosféricas pueden destruirlos en un caso extremo, o por lo menos provocarían falsos funcionamientos.

La falta de elementos altamente conductores y eficientes para canalizar estas descargas a tierra (con una muy baja impedancia) lo que en la actualidad conocemos como un sistema de pararrayos, puede provocar daños importantes a estructuras o equipos.

Existen diferentes sistemas de protección para las descargas de origen atmosférico. Quizá el más conocido sea el pararrayos, pero existen otros sistemas como, los cables de guarda o las jaulas de Faraday.

| Pico de intensidad (KA) | CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO EN A/m | | |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| | A 10 m del rayo | A 100 m del rayo | A 10 km del rayo |
| 10 | 1.6×10^2 | 16 | 1.9×10^{-2} |
| 20 | 3.2×10^2 | 32 | 3.8×10^{-2} |
| 30 | 4.8×10^2 | 48 | 5.8×10^{-2} |
| 70 | 1.1×10^3 | 1.1×10^2 | 13×10^{-2} |
| 100 | 1.6×10^3 | 1.6×10^2 | 19×10^{-2} |
| 140 | 2.2×10^3 | 2.2×10^2 | 27×10^{-2} |
| 200 | 3.2×10^3 | 3.2×10^2 | 38×10^{-2} |

Campo magnético estático en amperios/metro en función de la intensidad del rayo, medido a distintas distancias del punto de caída.

1.6.1.- CABLES DE GUARDA

Los cables de guarda, son cables sin tensión, que van colocados encima de la instalación a proteger. Son muy utilizados en las líneas aéreas de alta tensión. Se conectan a la misma estructura metálica en cada torre y sirven para varios motivos. Uno es el generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, rebajando al mínimo la resistencia de tierra ya que con el cable se unen todas las torres y por defecto toda la toma de tierra del trazado.

Otro motivo es para intentar captar el rayo durante las tormentas y conducirlo a tierra. La mayoría de los rayos que caen sobre estas líneas, impactan en el cable de guarda, pero en otras ocasiones no sucede así. Un impacto directo de rayo en una línea de transporte de energía eléctrica, causa daños muy graves en las instalaciones que no estén protegidas, o mal protegidas.



1.6.2.- PARARRAYOS FARADAY

La red de mallas o jaula FARADAY está constituida por una red de conductores dispuestos por todo el exterior del tejado y empleando como elementos captadores puntas FRANKLIN y por el exterior de las fachadas del edificio que se quiere proteger.

Esta red está compuesta de un mallaje de aproximadamente 15 m x 15 m, instalado en el tejado y conectado a tierra mediante bajantes distantes las unas de las otras, igualmente de 15 m, donde van a parar a las tomas de tierra individuales, interconectadas todas ellas mediante un conductor enterrado.

El número elevado de bajantes y de tomas de tierra hacen que este sistema obtenga muy buenos resultados en la protección contra los campos electromagnéticos producidos por el rayo y lo sitúan como la protección más eficaz. Este sistema siendo el más seguro tiene dos desventajas: ser antiestético y muy costosa su instalación.

El efecto jaula de Faraday, provoca que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio sea nulo, anulando el efecto de los campos externos. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday en 1836. En una caja metálica cuando se somete a un campo eléctrico ó electromagnético, como es el caso de los rayos, las cargas del metal, se reorganizan de tal manera que el campo eléctrico dentro la jaula es cero, es decir, cualquier objeto que esté rodeado por una malla metálica, está protegido de los campos electromagnéticos que se forman en el exterior, ó viceversa. Hay muchas aplicaciones de este descubrimiento, por ejemplo, en un microondas, las ondas electromagnéticas no pueden salir hacia el exterior debido al encapsulado metálico, los edificios hechos con hormigón armado forman una jaula de Faraday, los ascensores de los edificios, están recubiertos de metal, haciendo el mal funcionamiento de los teléfonos móviles. Los aviones están hechos de una carcasa metálica prácticamente hueca, y cuando un rayo impacta sobre él, el campo eléctrico permanece en la parte externa del fuselaje, manteniendo intactos los sistemas de navegación y al pasaje.



Los delicados equipos electrónicos, como por ejemplo los transistores de radio, acopladores, etc... tienen la carcasa de metal, para evitar que los campos electromagnéticos penetren y dañen la electrónica. Otra aplicación la tenemos en los cables coaxiales, que aunque no se debe confundir un cable apantallado con un cable coaxial, la malla de estos cables forman una jaula de Faraday, pero la causa de que los cables coaxiales presenten esta construcción es por otro motivo diferente a este.



1.7.- NORMAS

Normativas de pararrayos

Las normas actuales relacionadas con las instalaciones reglamentarias de pararrayos, pretenden, como objetivo de la protección contra el rayo, salvaguardar la vida de las personas y animales junto a sus propiedades y remarcan que en mayor o menor grado, aceptan que no existe una protección absoluta contra el fenómeno de las tormentas eléctricas, sino sólo una protección adecuada.

Las normativas dejan abierta la posibilidad de aplicar otros sistemas de protección, donde la necesidad de soluciones para la protección del rayo sea particularmente más exigente.

Con esto se procura que el calculista cuente con información, procedimientos y herramientas de cálculo para incluir en el inmueble la protección adecuada contra la incidencia de rayos.

Detalle de la **Normas Mexicanas Vigentes**

| | |
|-----------------------------|--|
| Clave de la Norma | NMX-J-603-ANCE-2008 |
| Título de la Norma | GUÍA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS |
| Fecha de la publicación | 18/08/2008 |
| Tipo de Norma | Definitiva |
| Producto | SEGURIDAD |
| Rama de actividad económica | INDUSTRIA ELÉCTRICA |
| ONN | ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, A.C. (ANCE) |

| | |
|--------------------|---|
| Clave de la Norma | NMX-J-549-ANCE-2005 |
| Título de la Norma | SISTEMA DE PROTECCION CONTRA TORMENTAS ELECTRICAS- ESPECIFICACIONES, MATERIALES Y METODOS DE MEDICION. |



| | |
|-----------------------------|---|
| Fecha de la publicación | 15/03/2006 |
| Tipo de Norma | Definitiva |
| Producto | APARTARRAYOS |
| Rama de actividad económica | INDUSTRIA ELÉCTRICA |
| ONN | ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, A.C.(ANCE) |



CAPITULO 2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS

OBJETIVO.

El objetivo de este trabajo es diseñar como propuesta, un sistema de protección contra descargas atmosféricas (rayo), para un edificio de gobierno perteneciente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público- Servicio de Administración Tributaria - SHCP-SAT - siguiendo la Normativa Mexicana vigente, así como brindar protección a las personas y proteger los bienes materiales en general. Este diseño se realizara conforme a las normas Mexicanas NMX-J-549 ANCE 2005 y la NMX-J-603 ANCE 2008.

2.1.- INTRODUCCIÓN.

El sistema de protección contra descargas atmosféricas tiene como función interceptar la trayectoria del rayo y conducirlo a lo largo de un conductor de baja resistencia, con el fin de que no se caliente y no se produzcan niveles de tensiones elevados durante su descarga. Con tal fin, la instalación para protección contra rayos se debe iniciar con la colocación de una terminal aérea de captación, un conductor o cable de baja resistencia hacia tierra y un sistema de electrodos de puesta a tierra, que garantice protección a las personas, las estructuras metálicas y los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentran en un inmueble. En base a una inspección del lugar donde se encuentra ubicado el edificio, un análisis, calculo y desarrollo del sistema de protección contra tormentas eléctricas y revisión de las normas correspondientes.

2.2.- NIVELES DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

El sistema de protección contra descargas atmosféricas consta esencialmente de 4 niveles de protección que se definen como:

NIVEL 1: Este es el nivel más severo en cuanto a la pérdida de patrimonio se refiere a las construcciones protegidas en donde un falla en el sistema de pararrayos puede provocar daños a las estructuras adyacentes, tales como las industrias petroquímicas de materiales explosivos.

NIVEL 2: Se refiere a las construcciones protegidas y en donde una falla en el sistemas de pararrayos puede ocasionar la pérdida de bienes de valores estimables, provocar pánico entre los presentes, pero sin ninguna consecuencia para las construcciones adyacentes, dentro de este nivel se tiene: museos teatros, estadios, edificios entre otros.

NIVEL 3: Se refiere a construcciones de uso común, tales como: casas, edificios residenciales, comerciales e industriales de manufactura simple. Estos se clasifican de la siguiente manera:

- Protección primaria: El nivel primario está constituido por los sistemas de pararrayos, terminales aéreas, estructuras metálicas, blindajes y tomas de tierra.
- Protección secundaria: Este nivel de protección es el necesario a nivel de la alimentación del equipo o sistema.
- Protección terciaria: Este es a nivel de líneas de datos y transmisión, tarjetas de circuitos impresos y componentes electrónicos, también se le denomina protección fina.

NIVEL 4: Se refiere a construcciones donde no es rutinaria la presencia de personas, están hechas de material no flamable y el material almacenado en la misma no es combustible, como son: las armazones de concreto para productos de construcción.

En la tabla 1.1 se muestra el nivel de protección que debe aplicarse sobre cualquier estructura.

Tabla 1.1 Nivel de protección recomendado en estructuras.

| ESTRUCTURAS COMUNES | EFFECTOS DE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS | NIVEL DE PROTECCIÓN RECOMENDADO |
|--|--|---------------------------------|
| Residencias. | Daño a instalaciones eléctricas, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra. | III o IV |
| Granjas. | Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para los animales. | II o III |
| Tanques de agua elevados: metálicos, concreto con elementos metálicos salientes. | Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua. | III |
| Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, | Daño en las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control (alarmas). Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | II |

| | | |
|--|--|--------|
| centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero y metropolitano. | | |
| Hospital, asilo y reclusorios. | Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control (alarmas). Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | I o II |
| Industrias tales como: maquinas-herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no flamable, fabrica de conductores | Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción. | I o II |
| Museos y sitios arqueológicos | Pérdida de vestigios culturales irremplazables. | II |
| Edificios de telecomunicaciones | Interrupciones inaceptables, pérdida por daños a la electrónica, costos de reparación altos y pérdidas económicas por falta de continuidad en el servicio. | I o II |

NOTA: el nivel de protección I es el de mayor protección y el nivel de protección IV es el de menor protección.

2.3.-MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

2.3.1.- MÉTODO DE FRANKLIN.

Este método se basa en el principio de captación o atracción del rayo por medio de terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio; consiste en determinar el volumen de protección proporcionado por un cono cuyo ángulo de la generatriz con la vertical varía según el nivel de protección deseado y para una cierta altura de la construcción. Utilizando la propiedad de las terminales aéreas o puntas metálicas de propiciar la concentración de las cargas eléctricas, que se conoce también como poder de puntas, Franklin concibió e instaló un dispositivo que desempeñaba esta función y que denominó pararrayos. El intervalo de atracción de un pararrayos es la distancia sobre la cual un pararrayos sencillo vertical de una

altura dada sobre un plano limpio, atrae una descarga atmosférica. El espacio protegido por tal dispositivo define el lugar en que la construcción no suele ser afectada por una descarga directa.

Benjamín Franklin fue el primero en darse cuenta que la altura era un factor importante en el diseño de protecciones contra rayos. El método Franklin es recomendado para la aplicación en estructuras muy elevadas o de poca área horizontal, donde se puede usar una cantidad de captadores pequeña, como se muestra en la figura 1.1

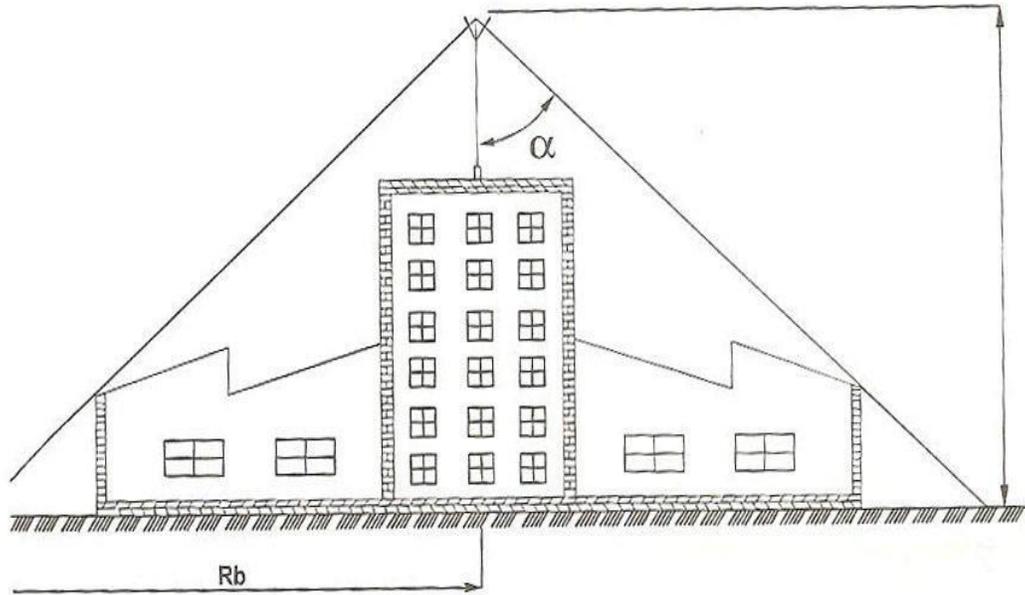


FIGURA -1.1 Zona de Protección para el Método Franklin.

En la figura 1.2 se muestran las partes principales de una instalación de pararrayos tipo Franklin, las cuales son:

- » La punta o captador.
- » Cesta metálica.
- » Aislador.
- » Abrazadera.
- » Conductor o cable de bajada.
- » Protector contra acciones mecánicas.
- » Electrodo de tierra.

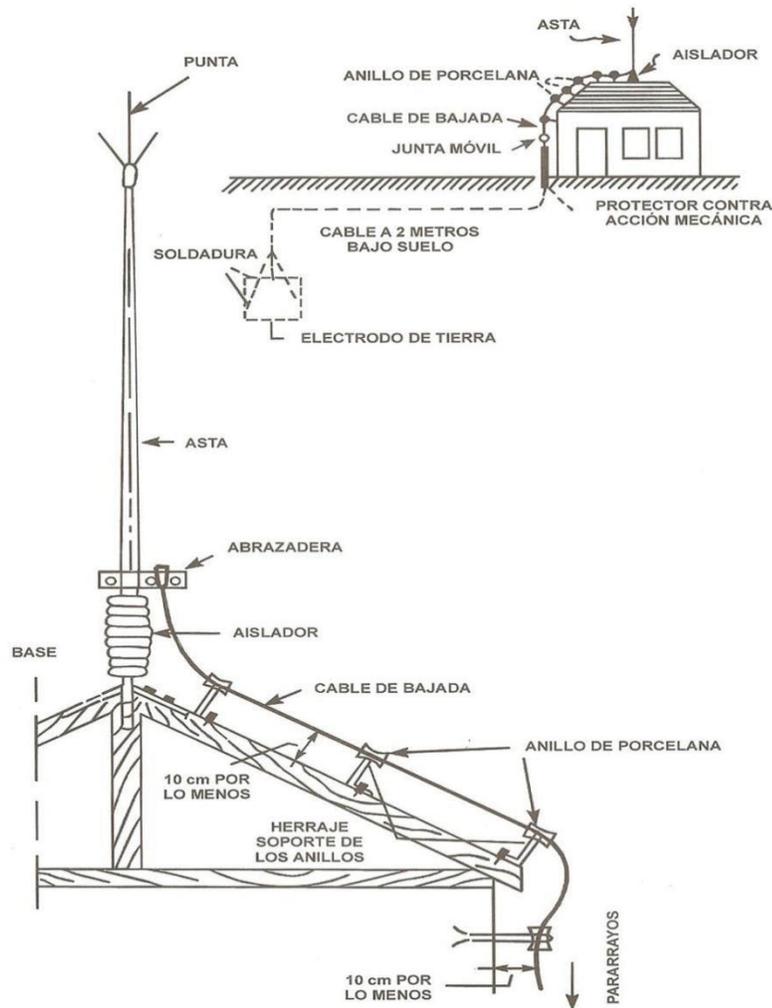


FIGURA -1.2 Partes principales de una instalación tipo Franklin.

Los elementos principales que constituyen un Sistema Externo de Protecciones contra Tormentas Eléctricas (SEPTE) son:

PUNTA O CAPTADOR.

Es la parte más elevada del pararrayos destinada a recibir la descarga por efecto de puntas, puede ser de una punta o varias, estas son de latón o bronce cromado. Cualquier parte del pararrayos debe ser buena conductora de electricidad, ya que de lo contrario la corriente de falla eléctrica (del orden de miles de amperes), produciría una caída de tensión elevada, con temperaturas superficialmente altas como para fundir el material y eventualmente toda la instalación del pararrayos.

- » Mástil o asta: Es el soporte del captador, está constituido de un tubo de cobre de longitud entre 3 m y 5m de 55mm de diámetro, se debe fijar firmemente con un

aislador de uso exterior, la función del mástil es soportar al captador y servir de conductor metálico.

- » Base de hierro fundido para mástil: Se emplea en la base de fijación del mástil o asta.

CONDUCTOR O CABLE DE BAJADA.

Es el conductor metálico que hace la conexión entre el mástil, el captador y el electrodo de tierra. Los conductores de bajada pueden ser de tipo no natural y natural.

- » Conductores de bajada no naturales: Son aquellos constituidos de conductores metálicos de cobre comercial de conductividad mínima del 98% para el tipo recocido o aluminio, apropiado para su utilización como conductor eléctrico, también se pueden utilizar tiras metálicas.
- » Conductores de bajada naturales: Son aquellos constituidos por elementos propios de la estructura o que se encuadran en la condición de conductores naturales, pero deben cumplir con ciertas prescripciones.

ELECTRODOS DE TIERRA

Son elementos metálicos instalados en forma horizontal o vertical y son responsables de la dispersión de la corriente eléctrica en el suelo. El conductor de bajada se debe conectar a la extremidad inferior de los electrodos de tierra, cuyo valor de la resistencia de conexión a tierra no debe ser superior a 10 Ω para la instalación en general y 1 Ω para edificios destinados a materiales explosivos inflamables.

El arreglo y las dimensiones del sistema de conexión a tierra favorecen la dispersión de las corrientes de descarga atmosférica a tierra, sin causar sobretensiones peligrosas. Se usan como electrodos de tierra los siguientes elementos: conductores en anillo, varillas verticales, conductores horizontales y radiales.

2.3.2.-MÉTODO DE FARADAY

El método de Faraday a diferencia del método de Franklin, está indicado para construcciones con altura relativamente baja, pero con una gran área horizontal, en las cuales es necesaria una gran cantidad de varillas o astas, haciendo que el proyecto sea muy costoso. La jaula de Faraday es una conexión hecha de varios puntos de la conexión a tierra y une los pararrayos con los electrodos a tierra.

Este método consiste básicamente en envolver la parte superior y el perímetro de una construcción con una malla captadora de conductores eléctricos, y todo ese conjunto resultante es conectado a cables múltiples de bajada, que a su vez se conectan al sistema de

tierras perimetral del edificio como se muestra en la figura 1.3, y cuya distancia de los mismos es función del nivel de protección deseada y dado en la tabla 1.2.

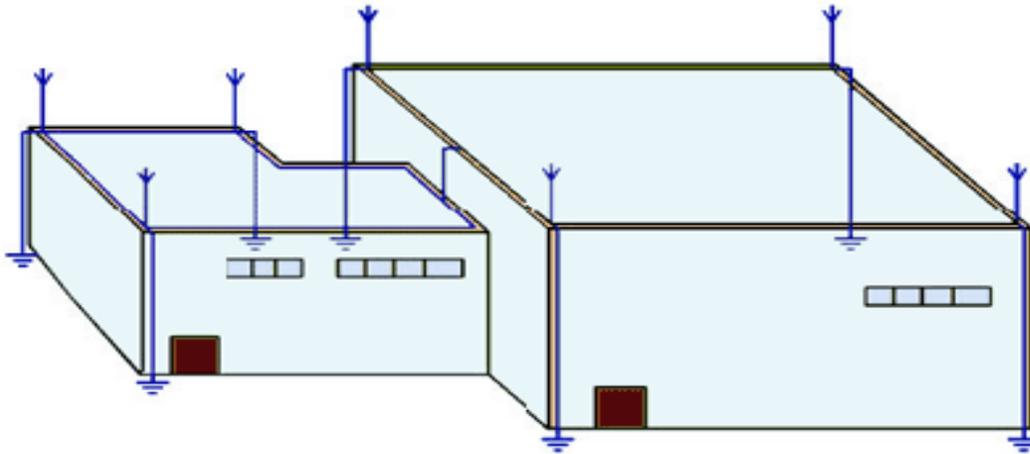


FIGURA -1.3 Partes principales de una instalación tipo Franklin.

TABLA.- 1.2 Niveles de protección de acuerdo a las dimensiones de la malla.

| NIVEL DE PROTECCIÓN | DIMENSIÓN DE LA MALLA (m) |
|---------------------|---------------------------|
| I | 5 X 10 |
| II | 10 X 15 |
| III | 10 X 15 |
| IV | 20 X 30 |

Para aplicar el método de Faraday es necesario seguir las siguientes recomendaciones:

- » La apertura de la malla es función del nivel de protección que se desea adoptar para una estructura particular
- » Para obtener el mismo nivel de protección proporcionado por el método de Franklin, la apertura mínima de las mallas de protección es la indicada en la tabla 1.2.
- » Mientras menor es la apertura o separación de la malla protectora mayor es la protección ofrecida por el método de Faraday.
- » Se recomienda la instalación de captadores verticales con una altura de 50cm a lo largo de los conductores que componen la malla protectora.
- » La distancia entre los captadores no debe ser superior a 8m .
- » Se recomienda que los usuarios de edificios y estructuras protegidas por

el método de Faraday eviten usar equipos electrónicos sensibles próximos a los conductores de bajada.

- » El número de conductores de bajada se calcula con la ecuación (1-1)

$$Ncd = \frac{Pco}{Dcd} \quad (1-1)$$

Ncd = Número de conductores de bajada

Pco = Perímetro de la construcción, en m.

Dcd = Distancia entre los conductores de bajada, en m.

- » Cuando exista cualquier estructura en la azotea que se proyecte a más de 30cm de plano de la malla captadora y que esté constituida de materiales no conductores, tales como: chimeneas, sistemas de extracción de aire, etc.; esta se debe proteger por un dispositivo de captación conectado a la malla captadora.
- » Cuando exista una estructura metálica en el techo o azotea, ésta se debe conectar a un sistema captador, si ocurre una de las siguientes condiciones:
 - 1) Si la altura de la estructura por encima del plano de la malla captadora es superior a 30 cm.
 - 2) Si la estructura estuviera a una distancia igual o superior a 50 cm de un dispositivo de captación.
- » La conexión a tierra del sistema de protección contra descargas atmosféricas se puede realizar también en el interior de las cimentaciones de concreto armado del edificio.
- » Durante la construcción de las cimentaciones, se puede usar una barra de acero galvanizado de sección circular con 10 mm de diámetro o en forma alternativa una placa de acero galvanizado de 3 mm por 3.5 mm
- » Se debe evitar aislar las cimentaciones contra la penetración de humedad, ya que provocaría una alta resistencia de contacto con el suelo natural, anulando de esta forma la eficiencia del sistema de conexión a tierra.

2.3.3.- MÉTODO ELECTROGEOMÉTRICO.

Este método también es conocido como el método de la esfera rodante o de la esfera ficticia, se basa en la delimitación del volumen de protección de los captadores en un sistema de protección contra descargas atmosféricas, pudiéndose utilizar varillas o astas, cables aéreos (cables de guarda) o también una combinación de ambos. Se usa con mucha eficiencia en estructuras de gran altura y/o de formas arquitectónicas complejas.

Este método 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. Se permite que la altura de la terminal aérea de intercepción pueda ser mayor que la recomendada de 3 m sobre el nivel a proteger. Sin embargo, esto eleva la probabilidad de impacto.

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.

En la figura 1.4 se muestra el proceso que 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.

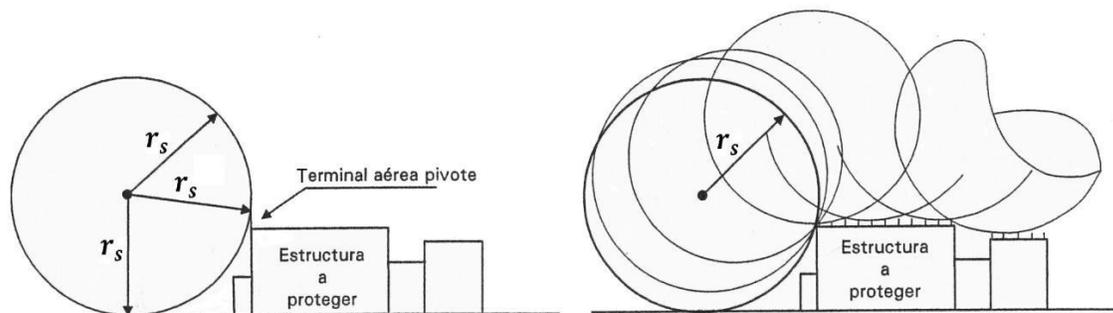


FIGURA -1.4 Aplicación del método de la esfera rodante para definir la altura y posición de las terminales aéreas de intercepción del rayo.

Por su característica volumétrica, el método de la esfera rodante puede aplicarse sobre cualquier estructura, en lo particular se emplea en las viviendas (residencias) que tiene un nivel de protección III y IV como se muestra en la tabla 1.1. La eficiencia de un Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE) es del 90% y 80% para los niveles de protección III y IV .

En la tabla 1.3 se muestra el radio de la esfera rodante (r_s) y la altura de las terminales aéreas verticales de acuerdo con el nivel de protección III y IV para el método de la esfera rodante r_s es ≤ 45 y ≤ 60 m.

TABLA.- 1.3 Altura de las terminales aéreas verticales y radio de la esfera rodante.

| NIVEL DE PROTECCIÓN | RADIO DE LA ESFERA RODANTE (r_s) Y SU CORRESPONDIENTE VALOR DE CORRIENTE DE RAYO (I) | | ALTURA DE LA TERMINAL AÉREA A PARTIR DEL PLANO A PROTEGER (h) |
|---------------------|--|--------|---|
| | r_s (m) | I (KA) | |
| I | 20 | 3 | ≤ 20 |
| II | 30 | 6 | ≤ 30 |
| III | 45 | 10 | ≤ 45 |
| IV | 60 | 16 | ≤ 60 |

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 en la figura 1.5

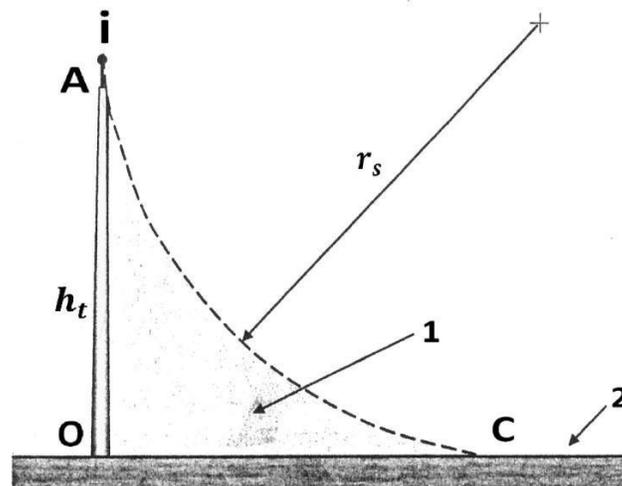


FIGURA -1.5 Altura máxima efectiva de una terminal aérea a partir del plano a proteger. La nomenclatura de la figura 1.5 es:

- 1 = Espacio a proteger.
- 2 = Plano de referencia.
- r_s = Radio de la esfera rodante, de acuerdo a la tabla 1.3.
- 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.

En la figura 1.6 puede apreciarse el espacio de protección de la terminal aérea.

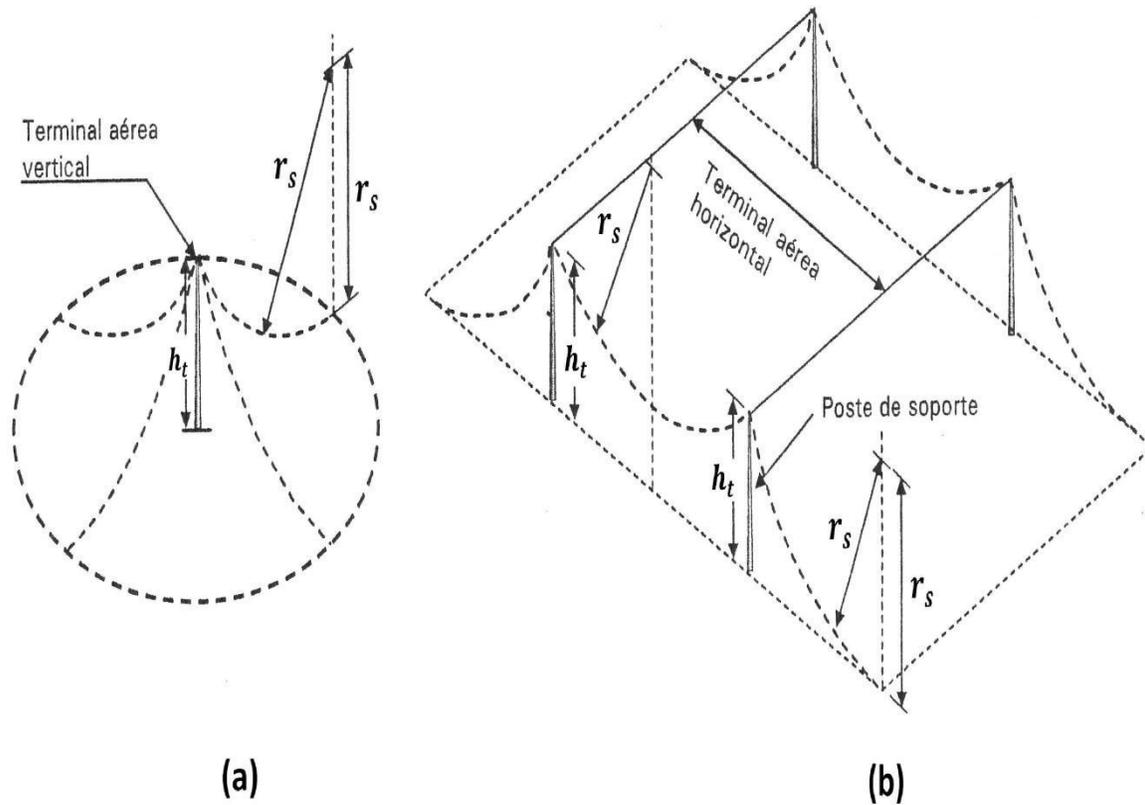


FIGURA -1.6 Espacio de protección (volumen bajo las líneas discontinuas) de una terminal aérea; (a) Vertical y (b) Horizontal obtenido mediante el método de la esfera rodante.

En la figura 1.6, se tiene:

r_s = Radio de la esfera rodante, en m .

h_t = Altura de la terminal aérea sobre el plano de referencia, en m .



CAPITULO 3.- NORMATIVIDAD EN MÉXICO EN PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

En este capítulo se presentan estrictamente los puntos que las Normas Mexicanas mencionan NMX-J-549 ANCE 2005. y la NMX-J-603 ANCE 2008 para sistemas de protección contra tormentas eléctricas. La primera está encaminada a las especificaciones, materiales y métodos de medición; la segunda es una guía de aplicación. Ambas tienen la finalidad de salvaguardar al personal, edificios y estructuras. Por último se muestra el procedimiento de cálculo del sistema de protección contra descargas atmosféricas.

3.1.- NMX-J-549 ANCE 2005, SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS - ESPECIFICACIONES, MATERIALES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones, diseño, materiales y métodos de medición del sistema integral de protección contra tormentas eléctricas, para reducir el riesgo de daño para las personas, seres vivos, estructuras, edificios y su contenido, utilizando como base el método de la esfera rodante reconocido internacionalmente.

3.1.1.- VALORACIÓN DE RIESGO.

La valoración de riesgo es una medida empírica, que estima la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura.

El diseño de un Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SPTE) incluye la valoración de riesgo de la estructura contra la incidencia de un rayo directo, esta valoración debe realizarse antes de definir las características y ubicación de los elementos constitutivos del Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE). El resultado de la valoración de riesgo determina la necesidad de instalar el SEPTE.

3.1.1.1.- FRECUENCIA DE RAYOS DIRECTOS A UNA ESTRUCTURA.

La frecuencia anual promedio de rayos directos en una estructura (N_o), se calcula mediante la ecuación 1-2.

$$N_o = (N_g)(A_e)(10^{-6}) \quad (1-2)$$

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 Km^2 , (Densidad de rayos a tierra, DTR).

A_e = Es el área equivalente de captura de la estructura, en m^2 .

3.1.1.2.- MAPA DEL PROMEDIO ANUAL DE DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA.

Las isolíneas de la figura 1.7 se emplean para evaluar la Densidad de Rayos a Tierra (DRT). Las isolíneas representan el promedio anual de dicho periodo. Las unidades de la DRT son rayos/km²/año. El valor de cada isolínea es de 0.25 y debe tomarse el nivel superior de la isolínea que corresponda a la ubicación de la instalación a proteger.

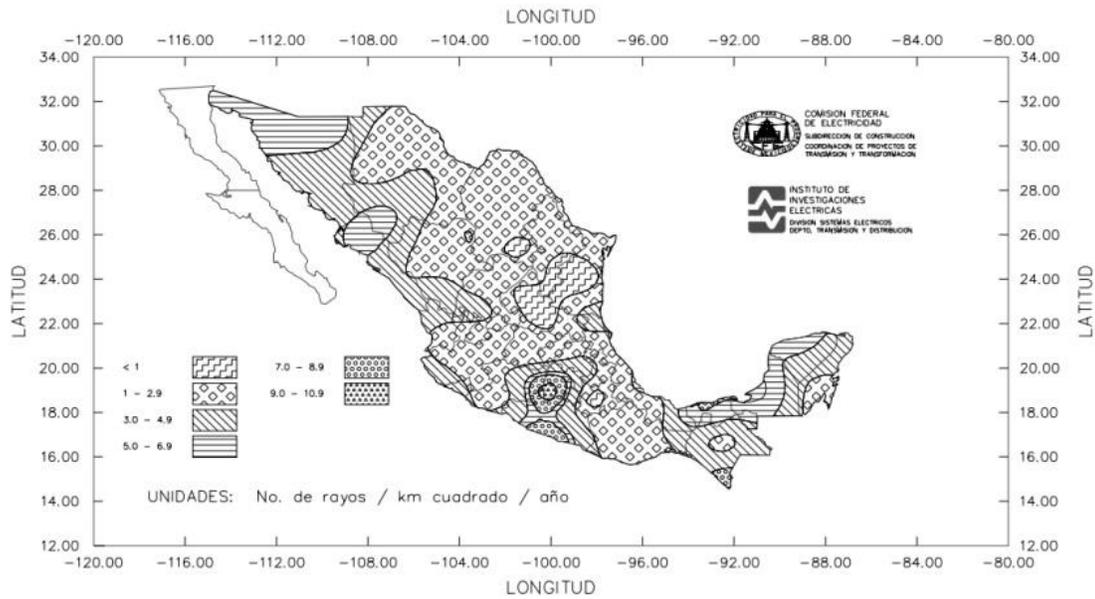


FIGURA -1.7 Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra.

3.1.1.3.- 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 definidos en la tabla 1.4

TABLA.- 1.4 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras de vivienda.

| Estructuras comunes | Efectos de las tormentas eléctricas | Frecuencia (N_d) |
|--|--|----------------------|
| Residencia | Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra. | 0,04 |
| Granja | Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales. | 0,02 |
| Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes. | Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua. | 0,04 |
| Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano. | Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | 0,02 |
| Hospital Asilo Reclusorio | Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | 0,02 |
| Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras. | Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción. | 0,01 |
| Museos y sitios arqueológicos | Pérdida de vestigios culturales irremplazables | 0,02 |
| Edificios de telecomunicaciones Véase nota | Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio. | 0,02 |
| NOTAS | | |
| 1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección. | | |
| 2 Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTE. | | |

3.1.1.4.- ÁREA EQUIVALENTE DE CAPTURA.

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

3.1.1.5.- EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DE PROTECCIÓN.

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:

- » Si N_o (Estimado) es $\geq N_d$ (tabla 1.4 valor permitido), el SEPTE es opcional.

Esta condición significa que el SEPTE puede o no instalarse. Sin embargo debe considerarse que, aun 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:

- » Si N_o (Estimado) es $\geq N_d$ (tabla 1.4 valor permitido), debe instalarse un SEPTE.

3.1.2.- DISEÑO DEL SISTEMA EXTERNO DE PROTECCION CONTRA TORMENTAS ELECTRICAS (SEPTE).

3.1.2.1.- TERMINALES AÉREAS.

Las terminales aéreas que se muestran en la figura 1.8, pueden ser:

- Elementos metálicos verticales.
- Cables aéreos tendidos horizontalmente.
- Una combinación de ambos.



FIGURA -1.8 Terminales aéreas verticales.

El arreglo de las terminales aéreas debe cumplir con las especificaciones de materiales y de unión equipotencial adecuadas como se muestra en la tabla 1.5 y 1.6.

TABLA.- 1.5 Materiales y dimensiones de las terminales aéreas.

| MATERIAL | SECCIÓN TRANSVERSAL mm ² |
|------------------|--|
| Cobre | 35 |
| Aluminio | 70 |
| Acero inoxidable | 50 |

NOTA: Para el acero inoxidable tipo aleación la sección transversal es de 304 mm².

TABLA.- 1.6 espesor mínimo de las hojas y tubos metálicos para terminales aéreas.

| MATERIAL | ESPESOR mm ² |
|----------|----------------------------|
| Acero | 4 |
| Cobre | 5 |
| Aluminio | 7 |

3.1.2.1.1.- NÚMERO Y UBICACIÓN DE LAS TERMINALES.

El número y ubicación de las terminales aéreas de un **SEPTE** dependen del nivel de protección seleccionado y 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 este fin. Estos elementos naturales pueden ser, hojas metálicas, ornamentaciones, barandillas, tubos metálicos, etc., ubicados en techos y fachadas, y deben cumplir las condiciones siguientes:

1. Eléctricamente continuos en todas sus partes.
2. No tener revestimiento de materiales aislantes.
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 3m por encima del objeto a proteger, verificando 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:

- » El nivel del techo.
 - » 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.

Cuando la altura del edificio o estructura sea mayor que 20 m pero menor o igual que 60 m, deben instalarse, adicional a las terminales aéreas en el nivel del techo (obtenidas al rodar la esfera rodante correspondiente al nivel de protección), conductores horizontales alrededor del edificio formando lazos cerrados cada 20 m de altura.

3.1.2.2.- 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:

- » Solera
- » Barra redonda
- » Cable
- » Acero estructural o de refuerzo (componente natural)

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

3.1.2.2.1.- REQUISITOS

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

- » Distribuirse uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura o edificio mediante una configuración lo más simétrica posible.
- » Conectarse a los elementos 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 posible de circuitos eléctricos y electrónicos, de equipo con riesgo de fuego o explosión, accesos para el personal y de puertas y ventanas.

3.1.2.2.- CONDUCTORES DE BAJADA NATURALES.

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

- » Elementos metálicos (columnas y traveses) de la estructura.
- » 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.

3.1.2.2.3.- TRAYECTORIA DE LOS CONDUCTORES DE BAJADA Y RADIOS DE CURVATURA

Las rutas ubicadas en zonas de tránsito de personas deben evitarse como se muestra en la figura 1.9 y para el caso en que la ruta indicada no pueda realizarse debe cumplirse la distancia mínima de seguridad como se muestra en la figura 2.0.

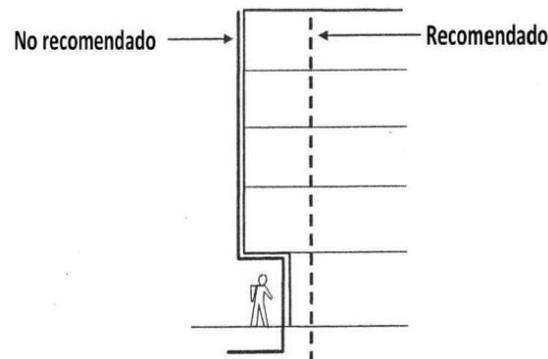


FIGURA -1.9 Ruta recomendada para conductores de banda en edificios con geometrías complejas como la indicada con tránsito de personas.

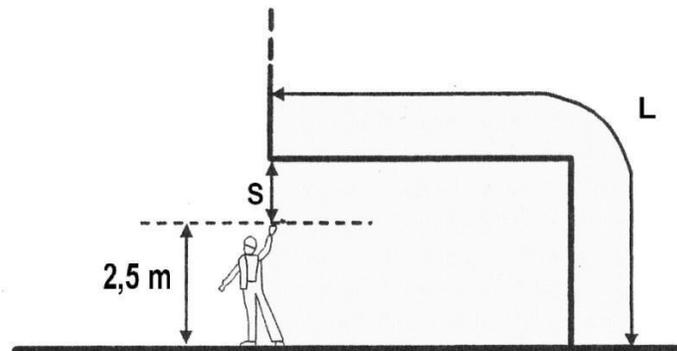


FIGURA - 2.0 Distancia de seguridad para el caso de un conductor de bajada en edificios con geometría complejas.

Donde:

s = Es la distancia de seguridad m (véase 3.1.2.2.5).

L = Es la longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra m .

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 2.1 ilustra los radios de curvatura del conductor de bajada. La figura 2.2 muestra la trayectoria que debe seguir el conductor de bajada en marquesinas y pretiles. La separación d_2 Debe cumplir la distancia de seguridad calculada con la ecuación 1.3.

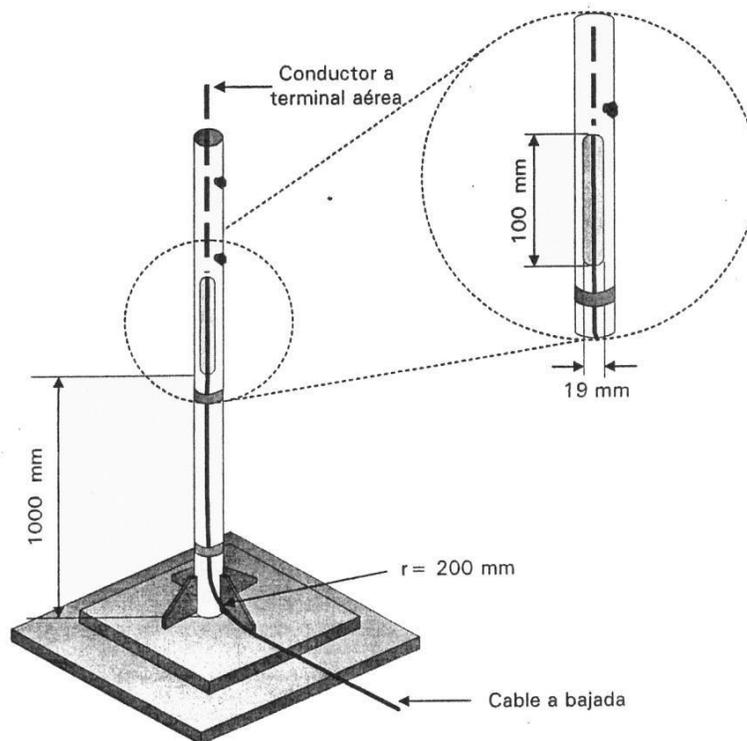


FIGURA - 2.1 Arreglo típico de un conductor de bajada cumpliendo con el radio de curvatura para un mástil soporte para terminales aéreas.

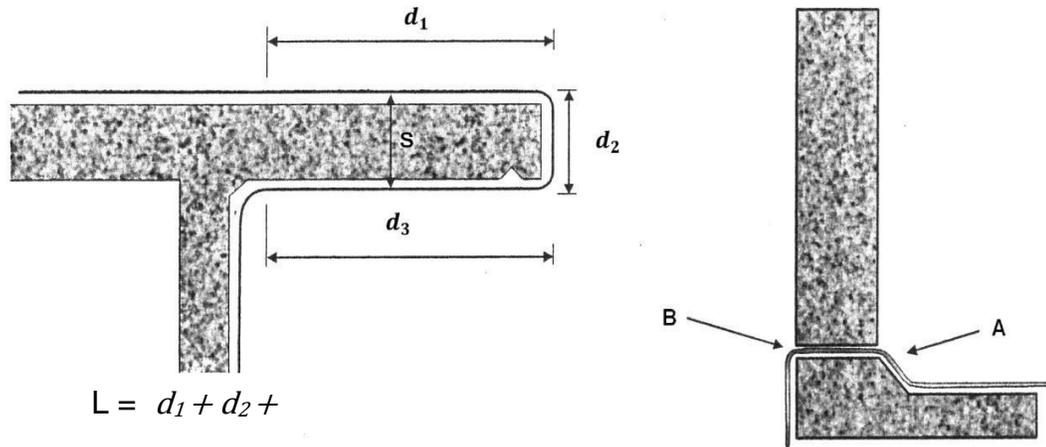


FIGURA - 2.2 Trayectoria para conductores de bajada del SEPTE en marquesinas y pretiles.

3.1.2.2.4.- 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 como se muestra en la figura 2.3. Cuando las condiciones físicas del edificio o estructura no permitan esta conexión a nivel del suelo debe utilizarse el acero de refuerzo o estructura de la cimentación para esta conexión. Además deben cumplirse los siguientes puntos, según sea el caso.

- » Si el SEPTE está formado por una sola terminal aérea, deben de utilizarse dos o más conductores de bajada.
- » Si el SEPTE está formado por terminales aéreas horizontales deben utilizarse dos o más conductores de bajada.
- » Los conductores de bajada deben de estar distribuidos cada 20 m de acuerdo al nivel II de protección, como se puede apreciar en la tabla 1.7.

TABLA.- 1.7 Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección.

| NIVEL DE PROTECCIÓN | DISTANCIA PROMEDIO m |
|---------------------|-------------------------|
| I | 10 |
| II | 15 |
| II | 20 |
| IV | 25 |

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.

- » Si la pared de la estructura está hecha de material flamable, los conductores de bajada deben ubicarse a una distancia mayor a 0.1 m del elemento a proteger.
- » Los conductores de bajada deben conectarse con los conductores horizontales alrededor de la estructura o edificio.

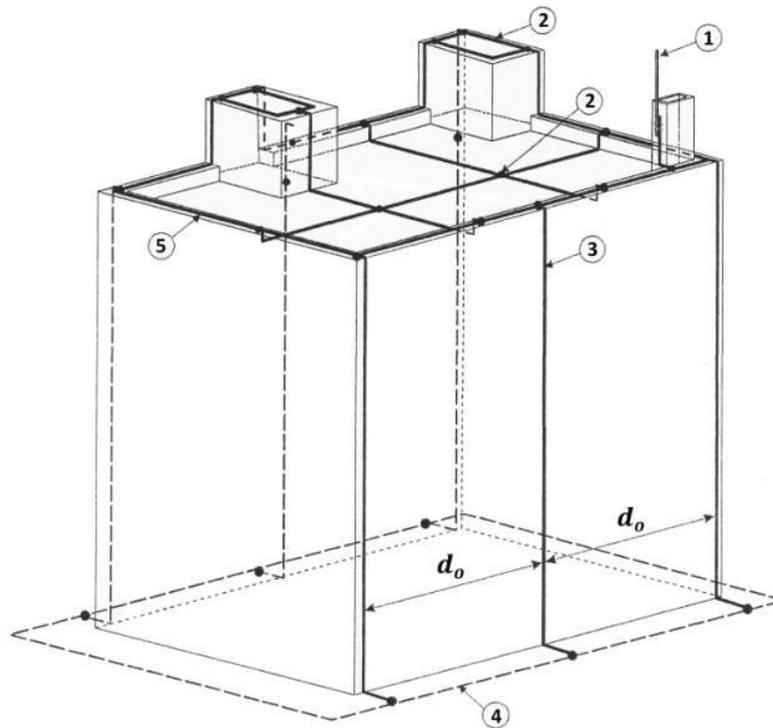


FIGURA - 2.3 Arreglo físico representativo de la conexión entre terminales aéreas, conductores de bajada y un arreglo cerrado del sistema de puesta a tierra en un edificio con diferentes alturas en el techo y para un sistema no aislado de protección.

Descripción:

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.

La distancia de separación d_0 de la figura 2.3, entre conductores de bajada debe ser cada 15m y 20 m, de acuerdo al nivel II y III recomendado para la protección de viviendas.



En la tabla 1.8 se muestran las dimensiones mínimas que deben tener los conductores de bajada, en cualquier configuración deben ser desnudos, 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.- 1.8 Dimensiones mínimas de los conductores de bajada.

| MATERIAL | CONDUCTOR DE BAJADA mm ² |
|----------|--|
| Acero | 50 |
| Cobre | 16 |
| Aluminio | 25 |

3.1.2.2.5.- DISTANCIA DE SEGURIDAD

La distancia de seguridad debe calcularse de acuerdo a la ecuación 1-3.

$$d \geq s \qquad s = K_i \frac{K_c}{K_m} l \qquad (1-3)$$

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 SEPTTE, para e nivel II = 0.075. (ver tabla 1.9)
- K_c = depende de la configuración dimensional, véase figura 2.4
- K_m = Depende del material de separación (ver tabla 2.0)
- l = Es la longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m .

TABLA.- 1.9 Valores de K_i para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPTTE

| NIVEL DE PROTECCIÓN | COEFICIENTE K_i |
|---------------------|----------------------|
| I | 0.1 |
| II | 0.075 |
| III Y IV | 0.05 |

TABLA.- 2.0 Valores de K_m para el efecto de proximidad de las instalaciones y del SEPTE.

| MATERIAL DE SEPARACIÓN | COEFICIENTE K_m |
|------------------------|-------------------|
| Aire | 1.0 |
| Solido | 0.5 |

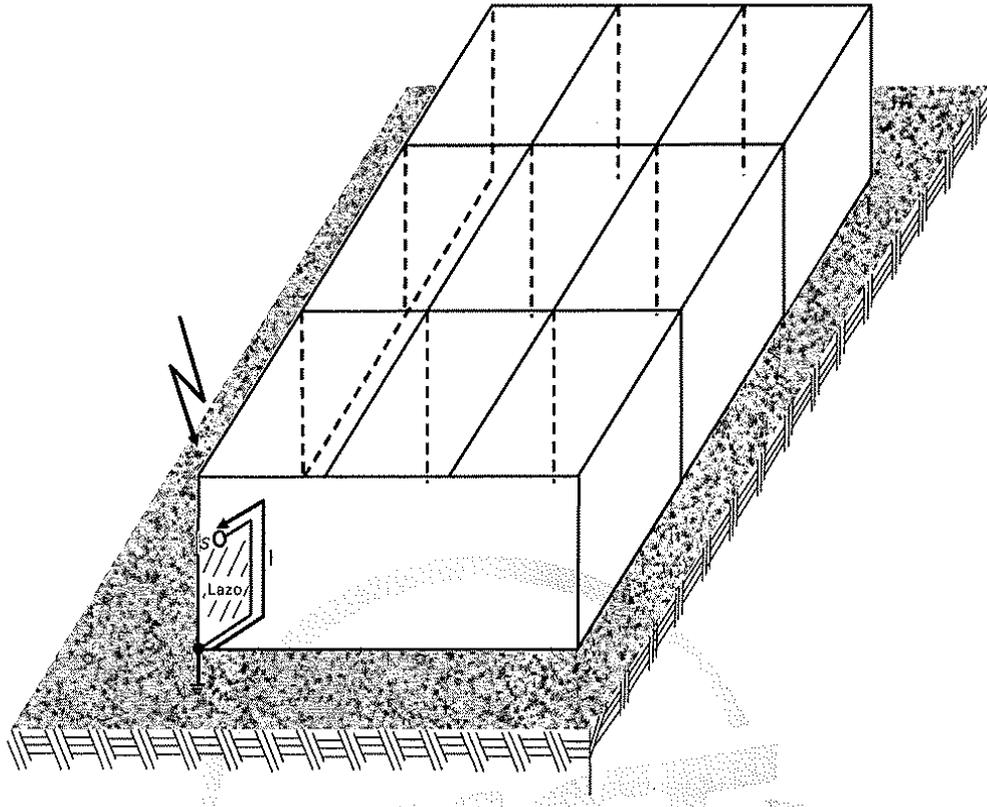


FIGURA - 2.4 Valor del coeficiente K_c para más de cuatro conductores de bajada.

Descripción:

s : Distancia de seguridad en m .

l : Longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m .

$$K_c = 0.44$$

3.1.2.3.- 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 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. Si 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 incluir e interconectar todos los sistemas de la instalación externa, sistemas de energía eléctrica, sistemas de telecomunicaciones, entre otros.

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 menores a 10Ω . Este valor de resistencia debe cumplirse para cada arreglo de 3 electrodos por conductor de bajada, cuando éstos no se encuentren interconectados.

Los elementos que deben formar un SPT son:

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

3.1.2.3.1.- ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.

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

- » Ser metálico.
- » Tener una resistencia a tierra baja.
- » Cumplir con las especificaciones de materiales.
- » Sus componentes no deben tener elementos contaminantes al medio ambiente.
- » Los formados por varios elementos metálicos deben estar unidos por medio de soldadura.

Los electrodos de puesta a tierra más comunes son los siguientes:

- » 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.

Los electrodos deben de cumplir con las especificaciones de la tabla 2.1

TABLA.- 2.1 Material y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de puesta a tierra.

| MATERIAL | CONFIGURACIÓN Y DIMENSIONES NOMINALES MÍNIMAS | |
|---------------------|---|---|
| COBRE | Cilíndrico sólido | 53.5 mm ² |
| | Cintilla | Ancho x espesor 25mm x 1.5mm |
| | Tubo | Diámetro interior 13mm Espesor de pared mínimo 1.8mm |
| | Placa plana | 500mm x 500mm Espesor mínimo 1.52mm |
| | Lámina (arreglos) | 0.25mm ² Espesor mínimo 0.711mm |
| | Cable trenzado | 53.5 mm ² |
| Acero | Tubo galvanizado | Diámetro interior de 19mm Espesor de pared mínimo 2.71mm Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm |
| | Placa plana galvanizada | 500mm x 500mm Espesor mínimo de recubrimiento de 0.086mm Espesor mínimo de placa 6.4mm |
| | Varilla estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico | Diámetro de 14.3mm mínimo y 15.5mm máximo Espesor mínimo de recubrimiento 0.254mm |
| | Varilla galvanizada | Diámetro de 13mm mínimo y 25mm máximo Espesor mínimo de recubrimiento de 0.086mm |
| Acero inoxidable | Cintilla o solera | Ancho x espesor 25mm x 1.5mm |
| | Varilla | Diámetro de 14.3mm mínimo y 15.5mm máximo |
| | Placa plana | 500mm x 500mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm |
| | Lámina (arreglos) | 0.25m ² Espesor mínimo 1.245mm de la lámina |

3.1.2.3.2.- FACTORES PARA EL DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SPT.

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

- » Estudio del terreno, resistividad.
- » Área disponible.
- » Aspectos físicos como obstrucciones, rocas y otros servicios o elementos enterrados.
- » 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.

En las figuras 2.5, 2.6 y 2.7 se muestran algunos arreglos típicos que pueden utilizarse como electrodos de puesta a tierra conectados a los conductores de bajada.

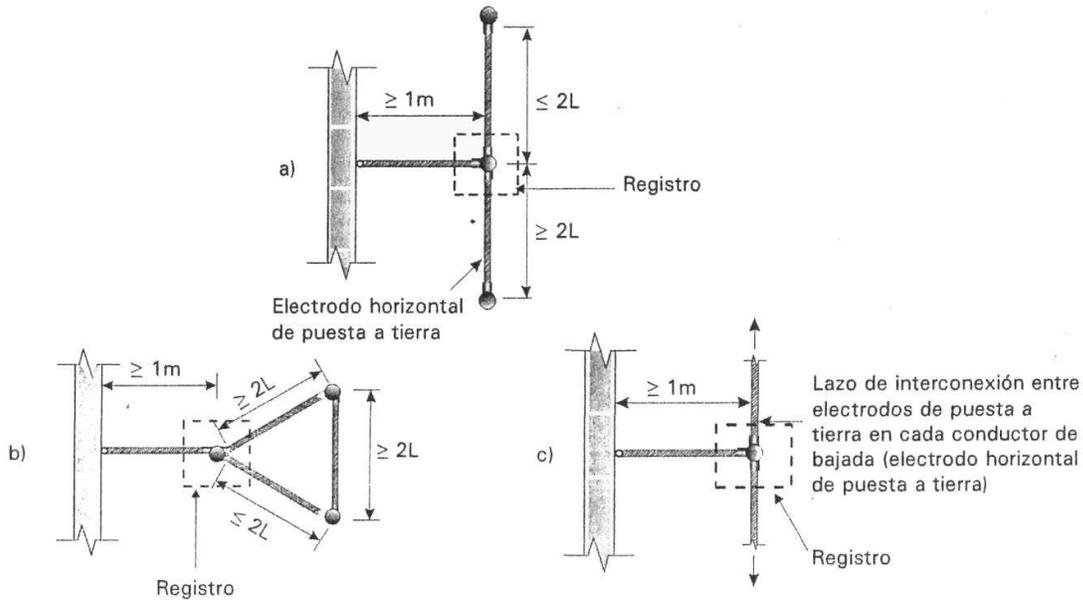


FIGURA - 2.5 Vista de planta de los arreglos típicos para formar el electrodo de puesta a tierra que conecta a cada conductor de bajada del SEPTE.

- 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. Donde L es la longitud del electrodo de puesta a tierra vertical en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7.

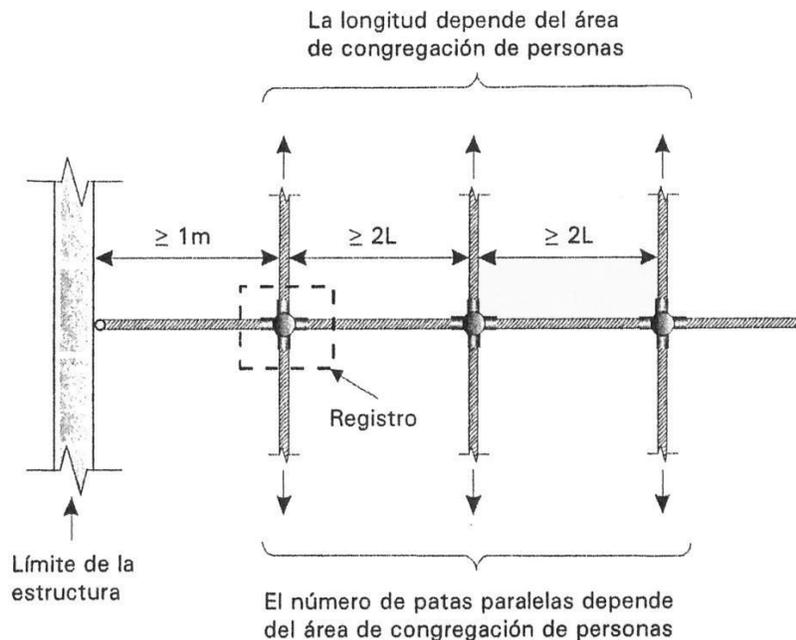


FIGURA - 2.6 Vista de planta del arreglo del SPT recomendado para áreas de congregación con tránsito de personas en caso de no poder instalar una capa superficial de alta resistividad.

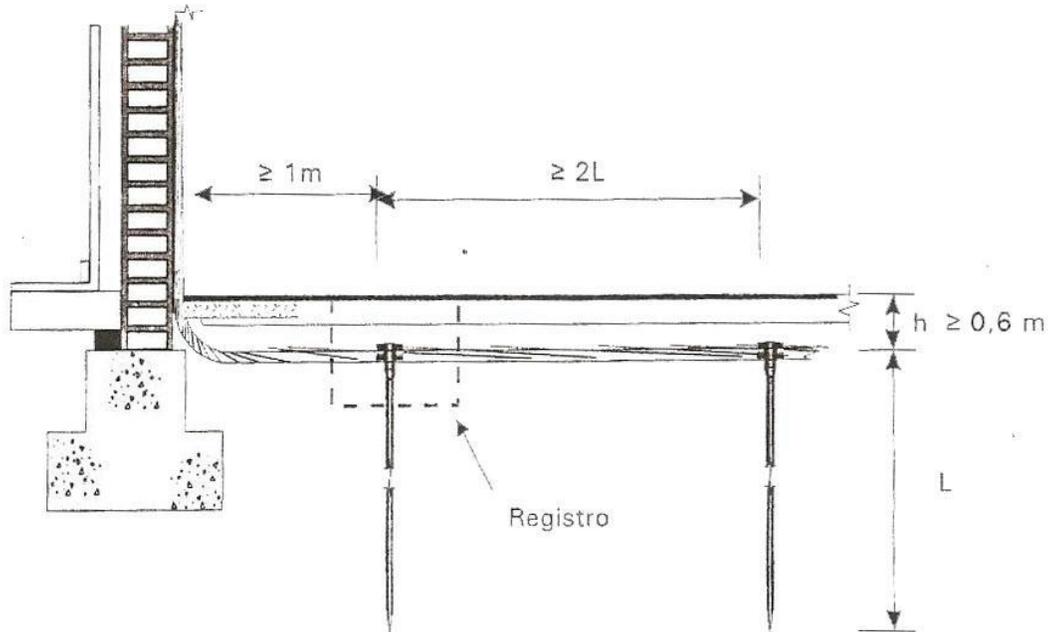


FIGURA - 2.7 Vista lateral de enterramiento de los electrodos de puesta a tierra verticales y horizontales.

Donde:

h = Es la longitud, en m .

L = Es la longitud del electrodo de puesta a tierra vertical en m .

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

- » La longitud de los electrodos de puesta a tierra verticales debe ser $> 2.40\text{ m}$.
- » La distancia mínima de separación entre los electrodos de puesta a tierra verticales debe ser el doble de su longitud.
- » 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 soldadura exotérmica.
- » Debe instalarse un registro por cada conductor de bajada para medición, comprobación y mantenimiento del SPT con las siguientes dimensiones mínimas de $32\text{ cm} \times 32\text{ cm} \times 32\text{ cm}$.
- » En caso de utilizar tubo, este debe ser de un diámetro mínimo de 35 cm y 25 cm de longitud.



- » Los electrodos de puesta a tierra deben interconectarse entre sí mediante conductores sin aislamiento horizontales enterrados como se muestra en la figura 2.8, por medio de soldadura exotérmica, formando una trayectoria lo más cerrada posible alrededor de la estructura.
- » En la unión de los elementos del SPT debe tener especial cuidado para lograr una compatibilidad galvánica entre los materiales.
- » Los electrodos de puesta a tierra horizontales deben instalarse a una distancia de 1.0 *m* o mayor que la estructura y a profundidades de 0.6 *m* o mayores.
- » El diseño del arreglo del SPT depende de la resistividad del suelo y de las limitaciones prácticas encontradas en el área de interés.
- » 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.
- » 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 si las instalaciones comparten servicios o no.
- » Si se tiene un elevado tránsito de personas en el terreno adyacente a la estructura, deben instalarse arreglos adicionales al SPT.
- » Si el área adyacente a la estructura está cubierta por una capa de asfalto o concreto de por lo menos 0.10 *m* las personas estarán protegidas contra el riesgo de electrocución, por lo que no es necesario la instalación de arreglos adicionales como el descrito en el punto anterior.
- » La interface tierra-aire de los electrodos de puesta a tierra debe protegerse contra la corrosión en el área debido a la reacción diferencial.

3.1.2.3.3.- METODOS PRACTICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE UN SPT.

La tubería principal del servicio del agua puede interconectarse con él o los elementos del SPT, siempre y cuando sea metálica, se encuentre enterrada, 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 de SPT, siempre y cuando haya sido diseñado y construido para el 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. Esos rellenos químicos deben ser inertes al medio ambiente y no dañara a los elementos del SPT por efecto de corrosión.

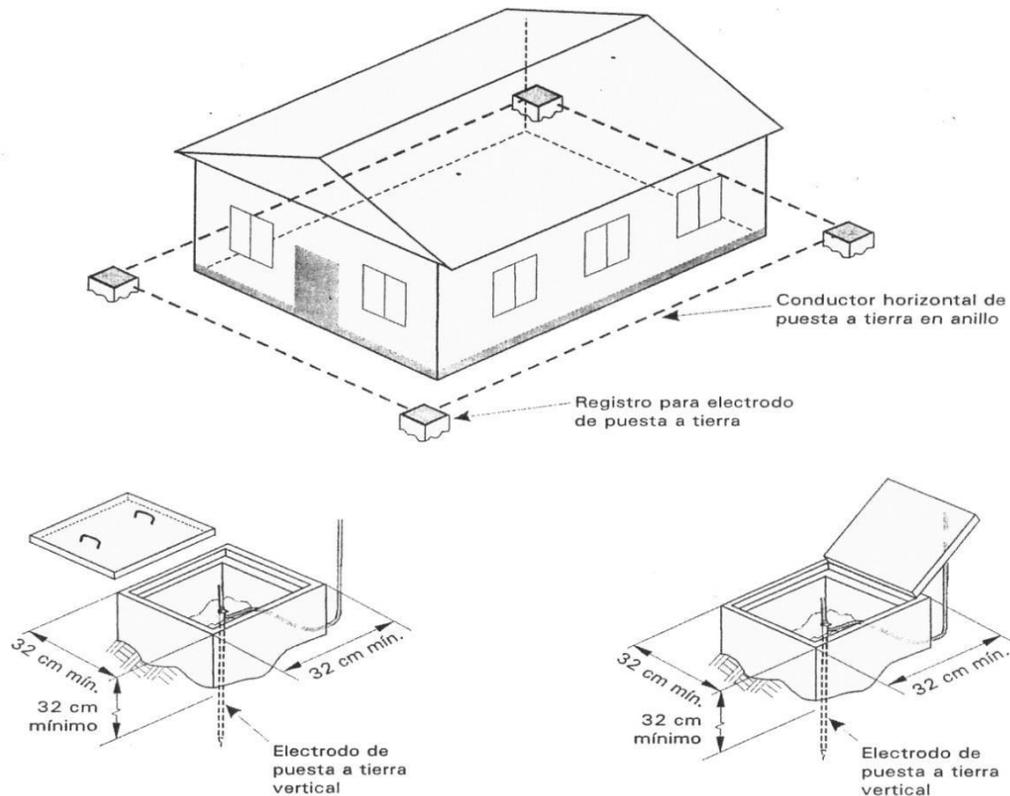


FIGURA - 2.8 Diagrama de conexión de los electrodos de puesta a tierra mediante una trayectoria cerrada alrededor de una estructura o instalación con registros en las esquinas.

3.1.2.3.4.- RESISTENCIA A TIERRA.

El valor de la resistencia en el diseño del arreglo del SPT debe ser $\leq 10 \Omega$. Para el caso en el que se tengan sistemas de puesta a tierra para diferentes servicios existentes dentro de una misma instalación (energía eléctrica, telecomunicaciones, etc) la resistencia a tierra del SPT antes de la conexión con los sistemas existentes debe ser $\leq 10 \Omega$.

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

3.1.2.3.5.- ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA EN SUELOS DE ALTA RESISTIVIDAD.

En suelo rocoso, es 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 10Ω . Para esta situación en particular, 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 suelo son:



- » 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 estructura de la instalación. Deben evitarse arreglos con trayectorias abiertas. En caso que no sea posible enterrar dicho arreglo, este 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.
- » Utilizar el acero de refuerzo de los cimientos de la estructura como el SPT.
- » Instalar un SPT auxiliar en zonas con suelos no rocosos o con resistividades mas 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.
- » Debe considerarse el uso de electrodos de puesta a tierra profundos para los casos en que sea imperativo obtener un valor de resistencia a tierra $< 10 \Omega$.

3.1.2.3.6.- REDUCCION DEL PELIGRO DE CHOQUE ELÉCTRICO.

La circulación de la corriente en los conductores de bajada y en lo 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 de cumplirse los requisitos siguientes.

- » 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.
- » 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 del piso terminado y donde la sección transversal del conductor de bajada represente un tercio del área interna de la canalización.
- » Unir eléctricamente (por debajo del nivel del piso) todos los elementos metálicos y acero de refuerzo de la estructura a proteger al SPT, mediante electrodos de puesta a tierra horizontales a una profundidad mínima de 0.6 m.
- » Instalar un arreglo del SPT como el indicado en la figura 2.8, o proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de personas a través de una capa de concreto de 0.10 m como mínimo entre el terreno natural y los elementos enterrados del sistema de puesta a tierra.



3.2.- NMX-J-603 ANCE 2008, GUÍA DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS.

Esta Norma Mexicana es una guía que especifica el proceso a seguir para comprobar el cumplimiento del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE) de las estructuras o instalaciones, diseñado e instalado de acuerdo con el campo de aplicación de la NMX-J-549-ANCE.

El Sistema de Protección contra descargas Eléctricas (SEPTE), evalúa la conformidad del diseño desarrollado para el sistema de protección contra tormentas eléctricas mediante los siguientes documentos:

- 1) Memoria técnica.
- 2) Planos de ingeniería.
- 3) Mediciones de campo.

3.2.1.- MEMORIA TECNICA.

VALORACION DE RIESGO.

1.- Verifica que cumpla con los siguientes puntos:

- » Calculo del área equivalente de captura.
- » Obtención de la densidad de rayo a tierra de la región.
- » Calculo de la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura.
- » Determinación de la frecuencia media anual permitida de rayos directos a una estructura.
- » Determinación de la necesidad de protección con terminales aéreas.

SISTEMA EXTERNO DE PROTECCION CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS (SEPTE).

1.- Verifica la ubicación y la altura de terminales aéreas de intercepción, conforme a los puntos siguientes:

- » Determinación del nivel de protección de acuerdo al tipo de instalación y uso.
- » Aplicación del método de la esfera rodante.
- » Determinación de la altura de las terminales aéreas verticales
- » Determinación del tipo de terminales aéreas, aisladas o no aisladas.

Nota 2 : Se permite que la altura de la terminal aérea de intercepción pueda ser mayor que la recomendada de 3 m sobre el nivel a proteger. Sin embargo, esto eleva la posibilidad de impacto.



2.- Verifica la ubicación y número de conductores de bajada.

- » Tipos de conductores de bajada.
- » Trayectoria de conductores de bajada y cálculo de distancias de seguridad.

3.- Verificar el diseño y configuración del Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

- » Tipo de electros puesta a tierra.
- » Diseño del SPT.
- » Criterios para la resistencia de puesta a tierra.
- » Estimación analítica de la resistencia de puesta a tierra.

SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS (SIPTTE) (ANEXO C).

1.- Verificar la unión equipotencial (UE).

- » Nivel de techo.
- » Nivel del suelo.
- » Nivel interno.
- » Instalaciones de telecomunicaciones.
- » Blindaje electromagnético.

2.- Verificar la puesta a tierra al interior del edificio.

- » Barras equipotenciales y conductores de puesta a tierra para: tableros derivados, gabinetes de telecomunicaciones, red de referencia, y los Supresores de Sobretensión Transitoria (SSTT).

3.- Verificar los Supresores de Sobretensión Transitoria (SSTT).

- » Identificación de puntos de entrada de servicios.
- » Identificación de categorías de ubicación.

3.2.2.- MEDICIONES.

1.- Verificar las mediciones de resistividad del terreno, mediante el informe de los puntos siguientes (ANEXO B).

- » Material y equipo utilizado.
- » Procedimientos de medición.
- » Registro de mediciones.
- » Interpretación de resultados y aplicación de criterios.



2.- Verificar las mediciones de la resistencia de puesta a tierra, mediante el informe de los puntos siguientes:

- » Material y equipo.
- » Procedimiento de medición.
- » Interpretación de resultados.

3.2.3.- PLANOS DE INGENIERÍA.

1.- Verificar el sistema externo de protección en los planos de ingeniería, mediante el cumplimiento de los siguientes documentos en planta, elevación (o 3D), con base en los resultados de la memoria técnica.

Nota: Algunos o la totalidad de estos planos pueden utilizarse para demostrar la conformidad en el cumplimiento de acciones y criterios exigidos en la memoria técnica.

- » Ubicación y altura de las terminales aéreas de intercepción en los niveles e instalaciones a proteger (naturales o delicados). Este plano puede contener el método de la esfera rodante para el diseño gráfico.
- » Ubicación y trayectoria de conductores de bajada delicados o naturales.
- » Ubicación de puntos de conexión para los conductores de bajada.
- » Arreglo y ubicación de la red de puesta a tierra y registros de inspección/medición.
- » Especificaciones del tipo y sección transversal de los materiales.
- » Ubicación de los elementos de fijación (conductor, barra, base, etc.)
- » Ubicación y tipo de conexión de cada componente y entre componentes (conductor-barra, conductor-terminal aérea, conductor-electrodo de puesta a tierra).

2.- Verificar el sistema interno de protección en los planos de ingeniería, mediante el cumplimiento de los puntos siguientes; (ANEXO C):

- » Ubicación y tipo de barras de unión y conductores de unión.
- » Especificaciones de tipo y sección transversal de los materiales.
- » Ubicación de los elementos de fijación (conductor, barra, base, etc.).
- » Ubicación y tipo de conexión de cada componente (conductor-barra, conductor-electrodo de puesta a tierra, etc.)
- » Ubicación del SSTT (dibujo esquemático o representativo).

3.2.4.- INSTALACIÓN.

1.- Verificar la instalación de los elementos constitutivos del SEPTE, mediante los puntos siguientes:

- » Numero, ubicación y tipo de terminales aéreas de intercepción.
- » Numero, ubicación y ruta de conductores de bajada.
- » Arreglo del Sistema de Puesta Tierra (SPT) de la instalación



- » Tipo y sección transversal de los materiales.
- » Sistema de fijación (terminal aérea, conductor, barra, base) y conexión de cada componente y entre componentes (conductor-barra, conductor-electrodo de puesta a tierra).

2.- Verificar la instalación de los elementos constitutivos de SIPTE, mediante los puntos siguientes; (ANEXO C):

- » Ubicación de las barras de puesta a tierra.
- » Tipo y sección transversal de los materiales.
- » Sistema de fijación (conductor, barra, base) y conexión de cada componente y entre componentes (conductor-barra, conductor-acero de refuerzo).
- » Ubicación y tipo de los Supresores de Sobretensión Transitoria SSTT para el sistema eléctrico.
- » Tipo de Supresores de Sobretensión Transitoria SSTT para líneas de tensión y corriente baja; como: datos, control, señales, etc.

La norma NMX-J-603-ANCE-2008, establece un proceso que sirve como guía para comprobar el cumplimiento con la norma mexicana NMX-J-549-ANCE-2005, en los términos siguientes:

- a) Establece una guía del proceso de verificación para demostrar el cumplimiento con el Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SPTE), para reducir el riesgo de daño a personas, seres vivos, estructuras, edificios y su contenido, mientras que la norma internacional no cubre esta actividad. Por su parte la norma internacional establece objetivos y etapas para la inspección y mantenimiento del SPTE, así como para los sistemas electrotécnicos instalados dentro de los edificios o estructuras debido al impulso electromagnético de las tormentas eléctricas.
- b) Considera una metodología de verificación a través de la lista de verificación, con el fin de que el usuario cuente con un medio objetivo que le indique los requisitos a cumplir, desde la etapa de proyecto eléctrico, memoria técnica, mediciones y planos de ingeniería del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SPTE).

3.3.- PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

Para la aplicación del procedimiento de cálculo del Sistema Externo de Protección contra Descargas Atmosféricas debe seguirse el procedimiento que se muestra en el diagrama de flujo de la figura 2.9.

Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (S.E.P.T.E)

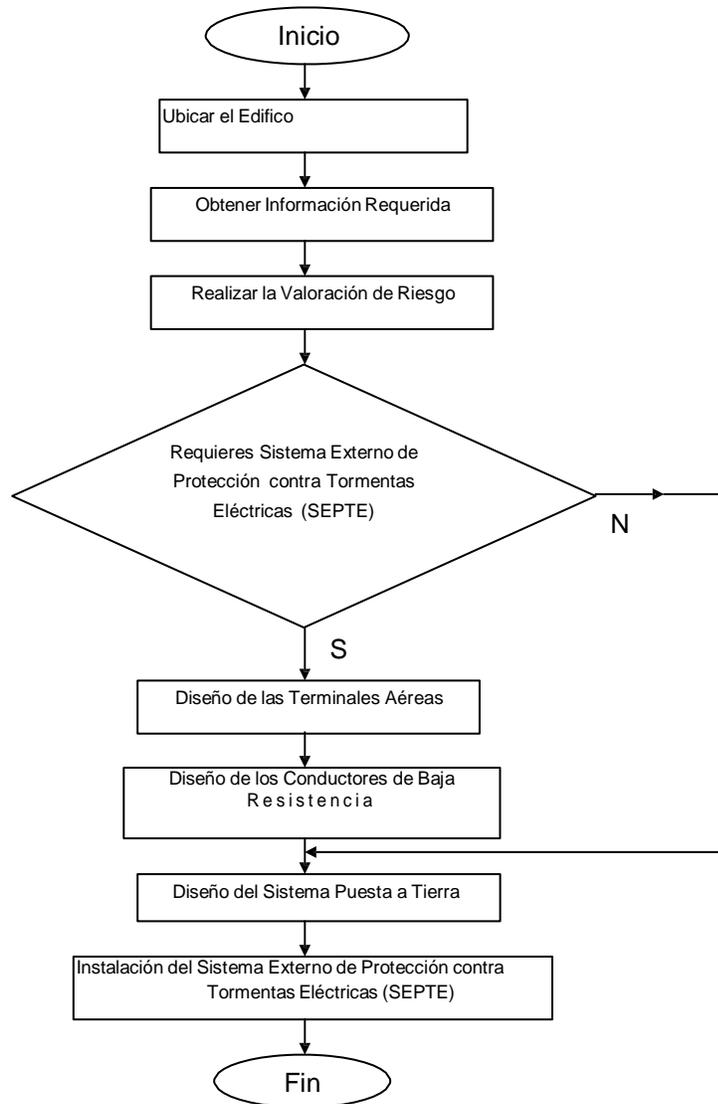


FIGURA - 2.9 Procedimiento para la aplicación del sistema externo de protección contra descargas atmosféricas.

3.3.1.- METODOLOGÍA DEL SPTE

Estos son los pasos a seguir para desarrollar la metodología del Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE).



3.3.1.1.- VALORACIÓN DE RIESGO.

Para determinar si es necesaria la instalación de un Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE) se requiere.

- » Cálculo de área equivalente de captura.
- » Obtención de la densidad de rayos a tierra de la región donde se encuentra la instalación a proteger.
- » Cálculo de la frecuencia anual promedio de rayos directos a la estructura.
- » Determinación de la frecuencia media anual permitida de rayos directos a la estructura.
- » Determinación de la necesidad de protección SEPTE.

3.3.1.2.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS (SEPTE)

Para el diseño de las Terminales Aéreas se requiere:

- » Determinación del nivel de protección de acuerdo con el tipo de instalación y su uso.
- » Determinación de la altura de las terminales aéreas verticales
- » Aplicación del método de la esfera rodante.
- » Determinación del tipo de terminales aéreas, aisladas o no aisladas.

Para el diseño de los conductores de bajada se requiere:

- » Selección de los tipos de conductores de bajada.
- » Trayectoria de los conductores de bajada y cálculo de las distancias de seguridad.

Para el diseño del Sistema de Puesta a Tierra (SPT) se requiere:

- » Tipo de electrodos puesta a tierra.
- » Diseño de SPT.
- » Criterios para la resistencia de puesta a tierra.

CAPITULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (ESTUDIO DE CASO).

En este capítulo se presenta, la propuesta, del diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, en base a la inspección del lugar donde se encuentra ubicado el edificio a proteger; así como el cálculo y desarrollo del sistema de protección contra tormentas eléctricas, utilizando como base el método electrogeométrico.

4.1- DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DEL EDIFICIO PÚBLICO.

El inmueble de oficinas que se muestra en la figura 3.0 se encuentra sobre Viaducto Río de la Piedad n° 507 en la colonia Granjas México de la Delegación Iztacalco, localizado en el Distrito Federal. Iztacalco es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal mexicano. Localizada en la zona centro-oriente del Distrito Federal, limita al norte con la delegación Venustiano Carranza y Cuauhtémoc, al poniente con Benito Juárez, al sur con Iztapalapa y al oriente con el municipio de Nezahualcóyotl en el Estado de México. Es la delegación más pequeña de las dieciséis que comparten el territorio capitalino, con apenas 23,3 kilómetros cuadrados que albergan una población cercana a los 400 mil habitantes. Iztacalco está a 2240 m de altitud y cuenta actualmente con 23.3 km² lo que representa el 1.75% de la superficie del Distrito Federal.

El territorio de este municipio es húmedo, por lo que es un grave problema para las construcciones ya que se desgastan mucho por la presencia del salitre y las arcillas.

En lo que respecta al clima de la delegación, la mayor parte de ella forma parte de una zona de clima semiseco templado. Sólo la parte suroeste –en el límite con Iztapalapa y Benito Juárez (Distrito Federal)– tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Iztacalco se encuentra en la zona más seca del Distrito Federal. El promedio de lluvia anual no rebasa los 600 mm. Sólo una pequeña porción al poniente de su territorio presenta un promedio de entre 600 y 700 mm. anuales.

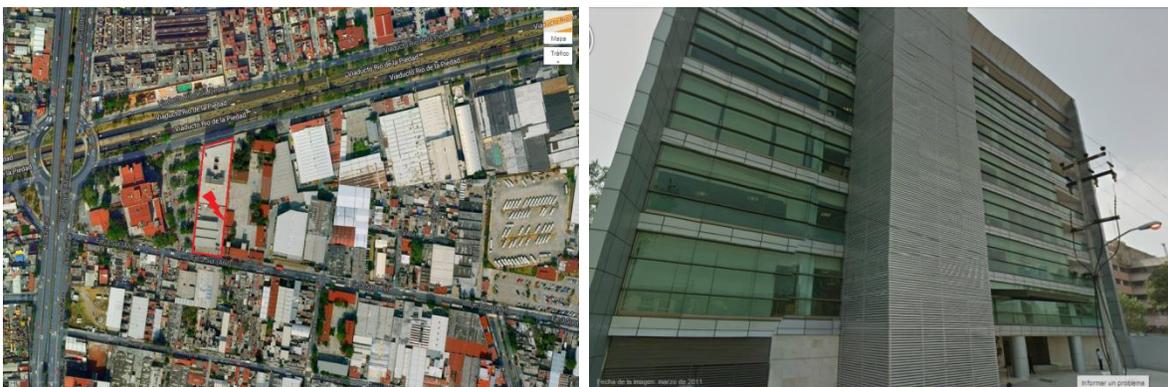


FIGURA - 3.0 Edificio público para propuesta de SEPTE y lugar de ubicación.

4.2.- INSPECCIÓN EN SITIO DEL EDIFICIO PÚBLICO.

Para el caso del inmueble de oficinas que se muestra en la figura 3.0, se tienen las siguientes características. El edificio se encuentra ubicado en un terreno plano y cuenta con colindancias a lado izquierdo con la Escuela Secundaria Técnica n° 22 “C.P. Armando Cuspina Maillard”, y a la

derecha con el Hospital General de Zona 2A de Troncoso, también cuenta en la parte trasera con un estacionamiento y una nave de 7m de alto. Debido a la mala planeación durante su construcción, se omitió un equipo tan imprescindible como lo es un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas por lo que se tomara en cuenta para el análisis de la protección.

El edificio está construido de ladrillos y cemento; la parte más larga consta de 70.00 m y 62.00 m en la parte más corta - por la forma geométrica que se aprecia en la figura 3.0 -. El ancho de la construcción es de 40.00 m, así como 30.00 m de altura, como se muestra en la figura (3.1); en la parte central de la azotea se encuentra ubicado un cuarto de máquinas hecho de ladrillos y cemento de 25.00 m de largo por 8.00 m ancho y 9.00 m de altura por lo que se considera techo plano para el análisis de la protección y cuenta con una antena de comunicaciones de 3.00 m de altura sobre su superficie.

En la cara del inmueble que da hacia la Av. Añil, existe una escalera de emergencia con las siguientes dimensiones: 3.80 m de ancho x 12.40 m de largo y 30 m de altura.

En la cara del inmueble que da hacia la Av. Viaducto Rio de la Piedad, existe una segunda escalera de emergencia con las siguientes dimensiones 3.80 m de ancho x 6.70 m de largo y 27 m de altura.

Ambas escaleras están agregadas a las fachadas del edificio, por lo que son volúmenes reducidos que también se consideraran para el análisis.

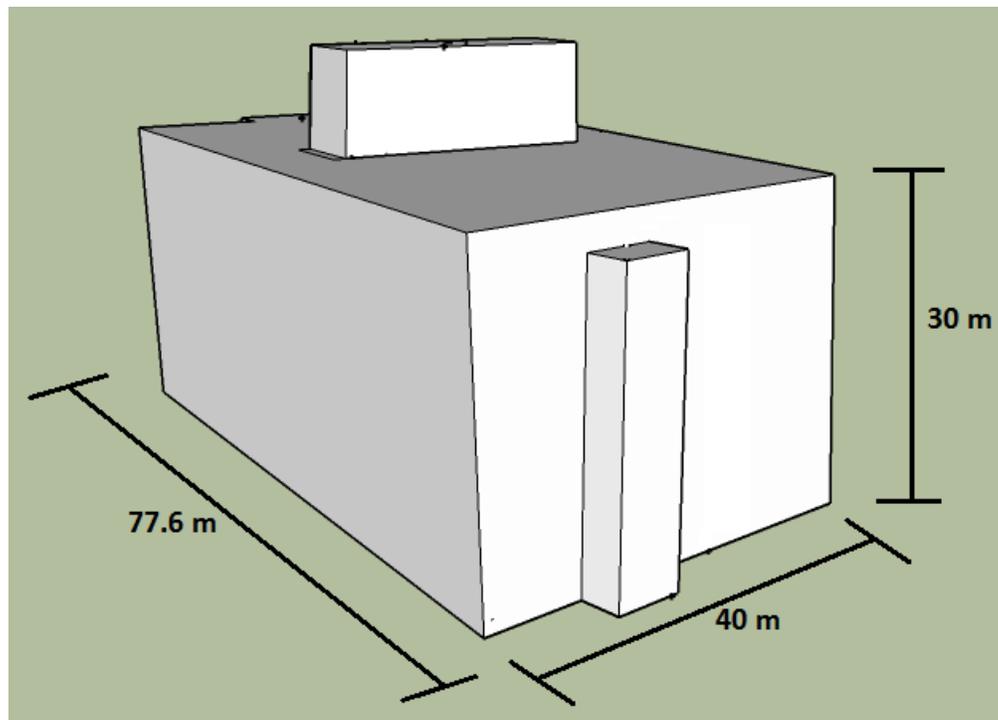


FIGURA 3.1.- Inspección del edificio público.

4.3.- CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

4.3.1.- VALORACIÓN DE RIESGO.

4.3.1.1.- ÁREA EQUIVALENTE DE CAPTURA.

De acuerdo con el criterio de la NMX-J-549-ANCE-2005, el área equivalente de captura total (A_e), del edificio de oficinas se calcula con la ecuación 1-4 tomando las dimensiones de éste, las cuales son de 77.60 m de largo -considerando la parte más larga del edificio y sumando el ancho de las dos escaleras de emergencia - por 40m ancho y 30m de altura; para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (1-4)$$

Donde:

- A_e = Es el área equivalente de captura, en m^2 .
- a = Es la longitud de uno de los lados de la estructura, 77.60 m
- b = Es la longitud del otro lado de la estructura, 40.00 m.
- h = Es la altura de la estructura, 30 m.

Sustituyendo los valores en la ecuación para encontrar el área equivalente de captura total se tiene.

$$A_e = [(77.6)(40)] + [6(30)(77.6 + 40)] + [9\pi (30^2)]$$

Por lo tanto, en base al cálculo realizado el área total de captura es:

$$A_e = 49718.9 m^2$$

En la figura 3.2. se muestra el área equivalente de captura total del edificio de oficina, considerando la vista superior del mismo.

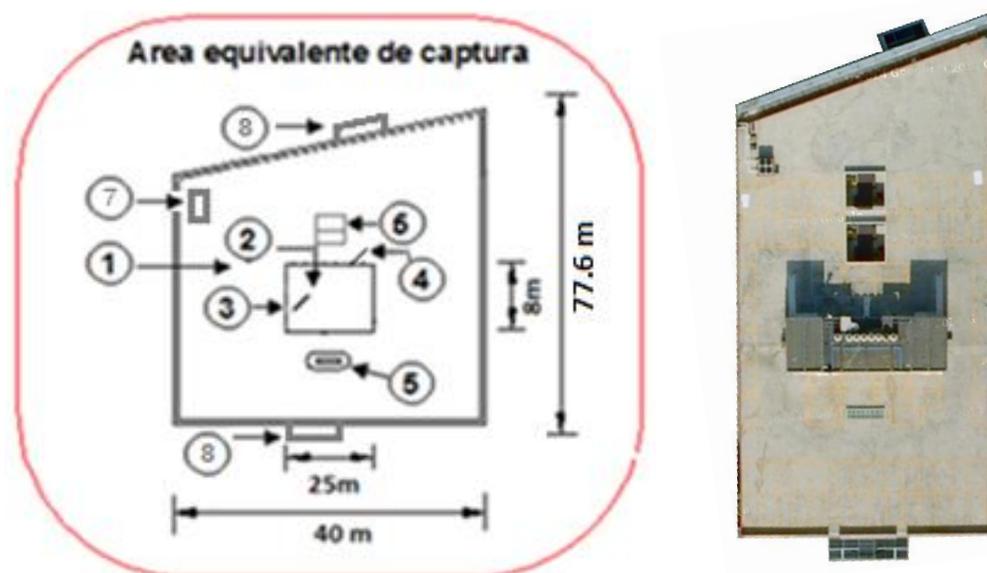


FIGURA - 3.2 Área equivalente de captura total del edificio; vista superior.

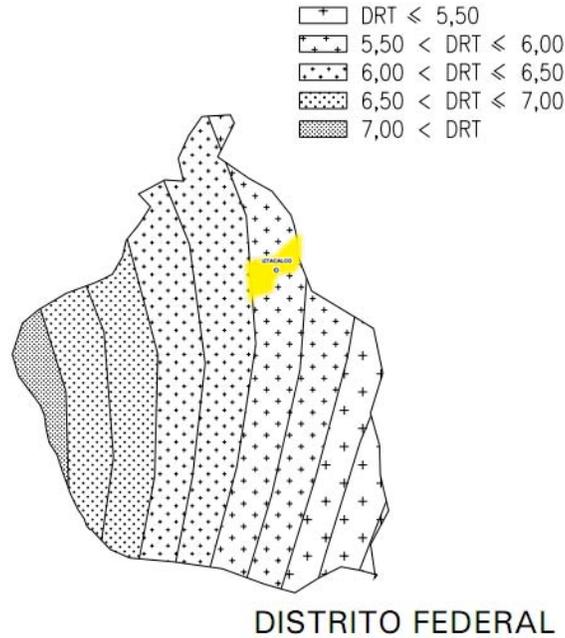


FIGURA - 3.3 Mapa promedio anual de densidad de rayos a tierra en el Distrito Federal.

De acuerdo con el criterio de la NMX-J-549-ANCE-2005, la frecuencia esperada (No) de impacto directo para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano se calcula con la ecuación 1-2.

$$No = (Ng)(Ae)(10^{-6})$$

Donde:

No = Es la frecuencia anual promedio de rayos directos a la estructura.

Ng = Es la densidad de rayos a tierra anual de rayos a tierra por Km^2 de la región donde se ubica el edificio público; es de 6 rayos/ Km^2 /año.

Ae = Es el área equivalente de captura de la estructura, en m^2 .

Sustituyendo los valores en la ecuación para encontrar la frecuencia esperada de impacto directo a la estructura se obtiene:

$$No = (6)(49718.9)(10^{-6})$$

Y el resultado es:

$$No = 0.2983134 \text{ descargas por año}$$

Por lo tanto la frecuencia esperada de impacto directo a la estructura es igual a 0.2983134 descargas por año, es decir, la probabilidad de que caiga una descarga atmosférica cada 3.35 años aproximadamente.

4.1.1.3.- EVALUACIÓN DE LA NECESIDAD DEL SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS.

La NMX-J-549-ANCE-2005 indica el criterio de análisis para establecer la necesidad de instalar un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas. Esta necesidad está basada en la probabilidad de que el edificio de oficinas tenga una incidencia directa de descargas atmosféricas superiores al valor establecido por la propia norma; en la ecuación 1-5, se hace comparación de los valores de la frecuencia esperada de impacto directo a la estructura y el nivel de protección recomendado $N_d = 0.04$ ver la tabla 2.2.

$$N_o > N_d \quad (1-5)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación se tiene:

$$0.2983134 > 0.04$$

Por lo tanto como la frecuencia esperada de impacto directo a la estructura calculada es mayor que el nivel de protección recomendado es necesaria la instalación de un Sistema Externo de Protección con Tormentas Eléctricas SEPTÉ.

TABLA.- 2.2 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.

| Estructuras comunes | Efectos de las tormentas eléctricas | Frecuencia (N_d) |
|---|--|----------------------|
| Residencia | Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra. | 0,04 |
| Granja | Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales. | 0,02 |
| Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes. | Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua. | 0,04 |
| Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano. | Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | 0,02 |
| Hospital Asilo Reclusorio | Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información. | 0,02 |
| Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelería, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras. | Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción. | 0,01 |
| Museos y sitios arqueológicos | Pérdida de vestigios culturales irremplazables | 0,02 |
| Edificios de telecomunicaciones Véase nota | Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio. | 0,02 |
| NOTAS | | |
| 1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección. | | |
| 2 Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTÉ. | | |



4.3.2.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN.

4.3.2.1.- DISTANCIA DE SEGURIDAD PARA LOS CONDUCTORES DE BAJADA.

La distancia de seguridad para los conductores de baja resistencia debe calcularse de acuerdo a la ecuación 1-3

$$d \geq s \qquad s = K_i \frac{K_c}{K_m} l$$

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 SEPTTE, para e nivel $\Pi = 0.075$. (ver tabla 1.9)

K_c = depende de la configuración dimensional, véase figura 2.4

K_m = Depende del material de separación (ver tabla 2.0)

l = Es la longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra, en m .

Sustituyendo los valores en la ecuación para determinar la distancia de seguridad de los conductores de bajada se obtiene:

$$s = (0.075) \left[\frac{0.44}{1.0} \right] (31)$$

Por lo tanto la distancia de seguridad para los conductores de bajada es:

$$s = 1.023 m$$

4.3.2.2.- RESISTIVIDAD DEL TERRENO Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

La resistencia que debe tener el suelo debe de ser máximo de 10Ω para garantizar que la descarga se disipe de una forma segura en el suelo. El edificio se encuentra en un lugar donde la tierra es húmeda salitrosa por lo que se establece que la resistividad promedio para ese tipo de tierra es de $100 \Omega m$. Para determinar que el arreglo de los electrodos y la tierra preparada a utilizar garantizan que la resistencia que tiene el terreno va a ser por debajo de los 10Ω se calcula con la ecuación 1-6.

$$R = \left(\frac{\vartheta}{(2)(\pi)(L)} \right) \left(L \frac{(4)(L)}{d} \right) \qquad (1-6)$$

En donde:

R = Resultado de la resistencia del terreno, en Ω .

ϑ = Resistividad que tiene el terreno, $100 \Omega m$.



L = Longitud del electrodo, 4 m.

d = Diámetro que tiene el electrodo, 0.00825 m.

Nota:

- 1) La tierra preparada con la que se rodea al electrodo baja la resistividad a un 30% por lo que la resistividad del terreno queda de 70 Ω m, ver anexo E.
- 2) Se propone la utilización de electrodos puesta a tierra con un arreglo doble en paralelo para reducir el 55% del valor obtenido en el resultado de la resistencia del terreno, ver anexo F.

Sustituyendo los valores en la ecuación para encontrar el resultado de la resistencia del terreno se obtiene:

$$R = \left(\frac{70}{(2)(\pi)(4)} \right) \left(\ln \frac{(4)(4)}{0.00825} \right)$$

Por lo tanto, el resultado de la resistencia del terreno es:

$$R = 21.08 \Omega$$

Pero con el arreglo doble en paralelo se reduce al 55% del resultado de la resistencia del terreno, y se obtiene una resistencia de:

$$R = 9.49 \Omega$$

Por lo que la descarga se disipara de forma segura en el suelo.

4.4.- PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

4.4.1.- VALORACION DE RIESGO.

Una vez obtenidos los valores:

- » El área equivalente de captura igual a 49718.9 m²
- » La frecuencia esperada de impacto directo a la estructura es igual a 0.2983134 descargas por año.
- » La frecuencia media anual permitida de rayos directos igual a 0.04.

Por lo que es necesario instalar un Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas (SEPTE).



4.4.2.- SISTEMA EXTERNO DE PROTECCIÓN CONTRA TORMENTAS ELÉCTRICAS.

4.4.2.1.- TERMINALES AREAS DE INSPECCIÓN.

1. Determinación del nivel de protección de acuerdo con el tipo de instalación y su uso.

El nivel de protección recomendado para los edificios de oficina se tiene en la tabla 1.1. En este caso se utilizo el nivel *II* para una mayor protección.

2. Determinación de la altura de las terminales aéreas verticales.

La altura recomendada para las terminales aéreas es de *3m*, vista en el punto 3.1.2.1.1.; que dice que la altura de las terminales aéreas debe estar limitada a *3m* por encima del objeto a proteger, ya que si se aumenta la altura, la probabilidad del número de impactos sobre las terminales aéreas es mayor.

En la tabla 2.3. se muestra la altura del mástil de las terminales aéreas, la altura de la estructura a proteger y la altura total que alcanzan las terminales aéreas.

TABLA.- 2.3 Altura de las terminales aéreas de intercepción.

| NUMERO DE PUNTA | ALTURA DEL MASTIL (m) | ALTURA DE LA ESTRUCTURA A PROTEGER (m) | ALTURA TOTAL QUE ALCANZAN LAS TERMINALES AÉREAS. (m) |
|-----------------|-----------------------|--|--|
| 1 | 3 | 30 | 33 |
| 2 | 3 | 30 | 33 |
| 3 | 3 | 30 | 33 |
| 4 | 3 | 39 | 42 |
| 5 | 3 | 39 | 42 |
| 6 | 3 | 30 | 33 |
| 7 | 3 | 30 | 33 |

3. Aplicación de método de la esfera rodante de protección para determinar la ubicación de las terminales

Las figuras 3.4, 3.5 y 3.6 muestran esquemáticamente la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30 m obtenido de la tabla 1.3. La esfera empieza a girar desde el nivel del suelo con dirección a la terminal aérea número 1 que tiene una altura de 3 m por encima del edificio.

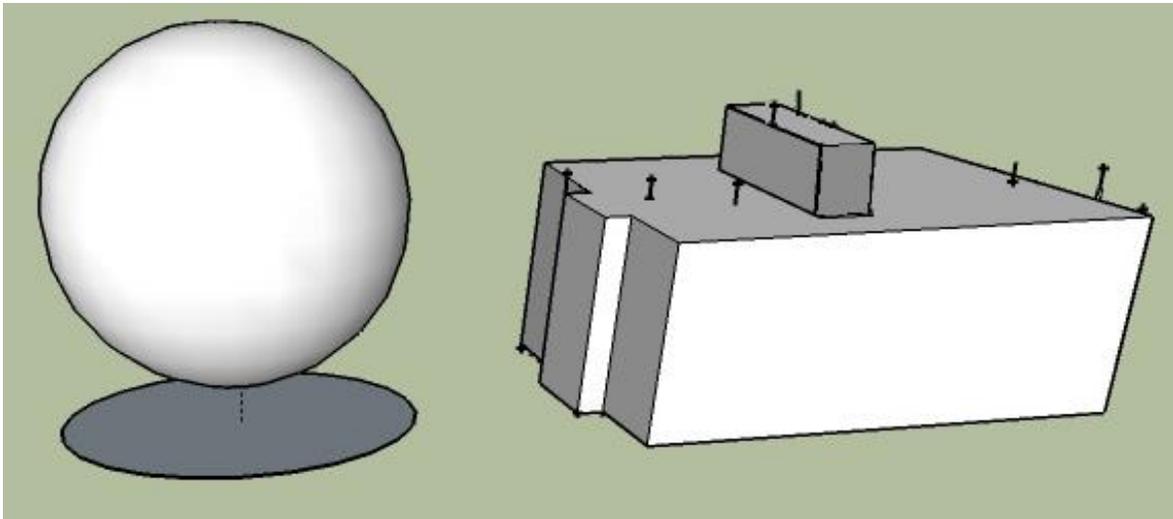


FIGURA - 3.4.

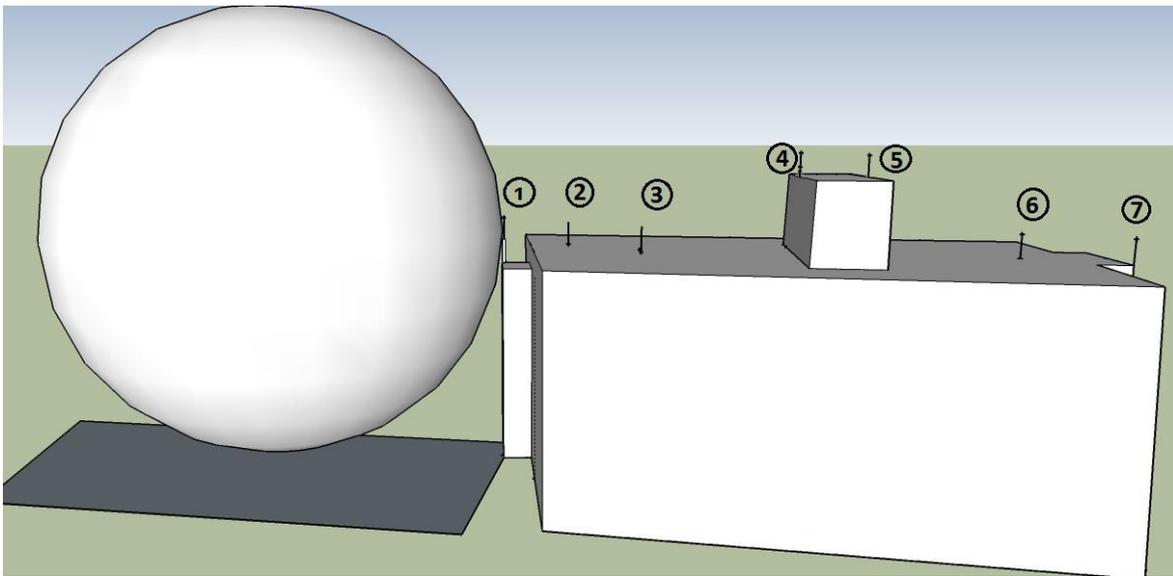


FIGURA - 3.5

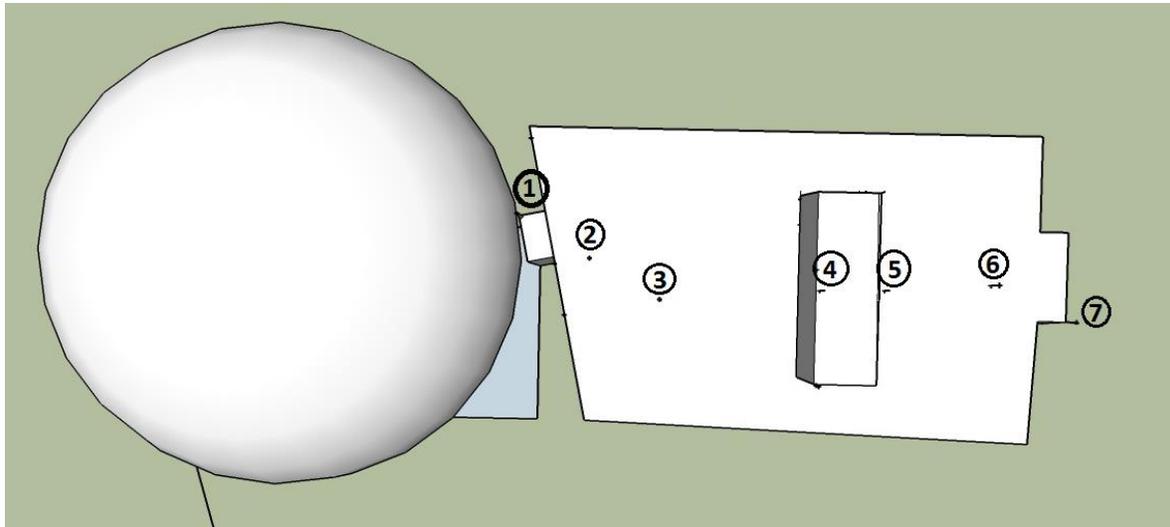


FIGURA - 3.6

FIGURAS 3.4, 3.5 Y 3.6 Rodamiento de la esfera a nivel de suelo y terminal 1.

La figura 3.7, muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 1, con dirección a la terminal aérea número 2, que tienen una altura de 3m por encima del edificio.

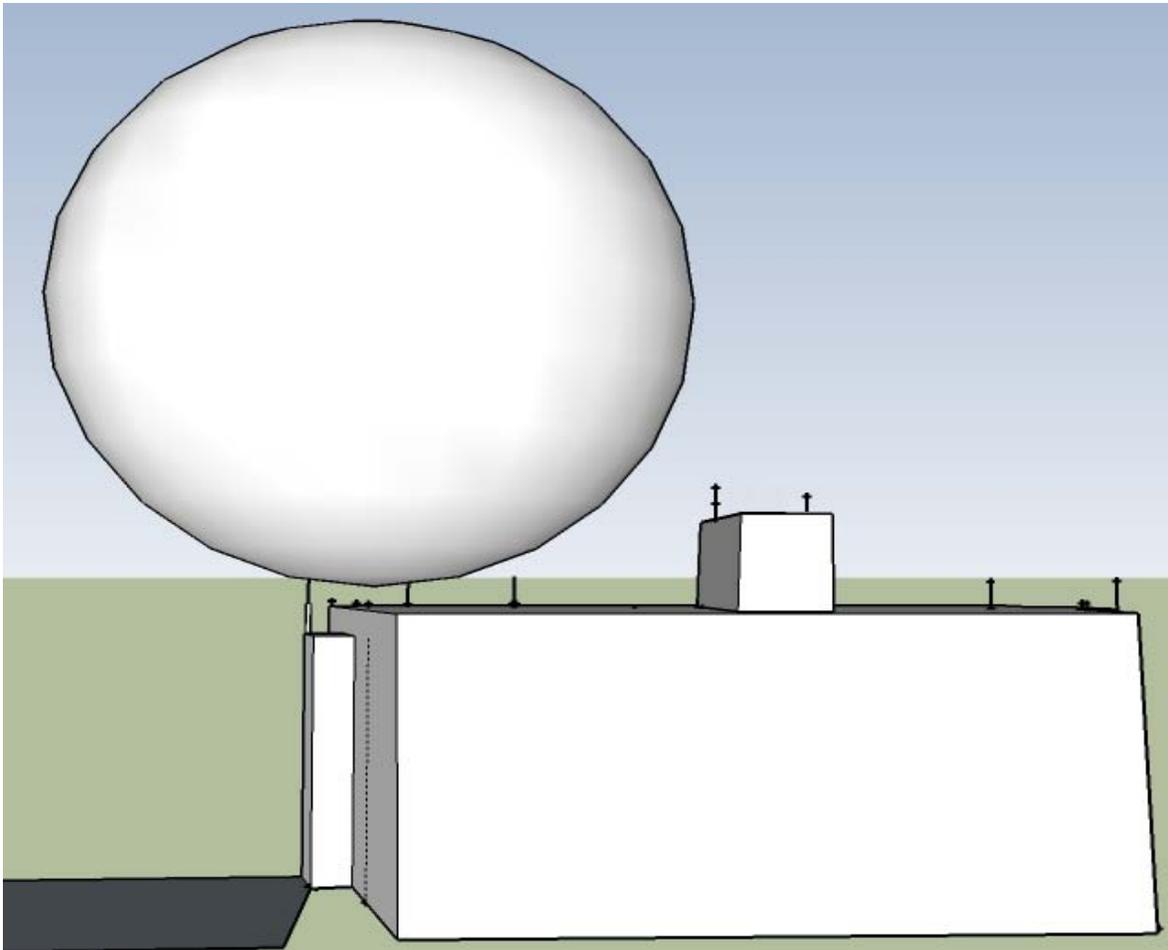


FIGURA 3.7 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 1 y 2.

La figura 3.8, muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 2, con dirección a la terminal aérea número 3, que tienen una altura de 3m por encima del edificio.

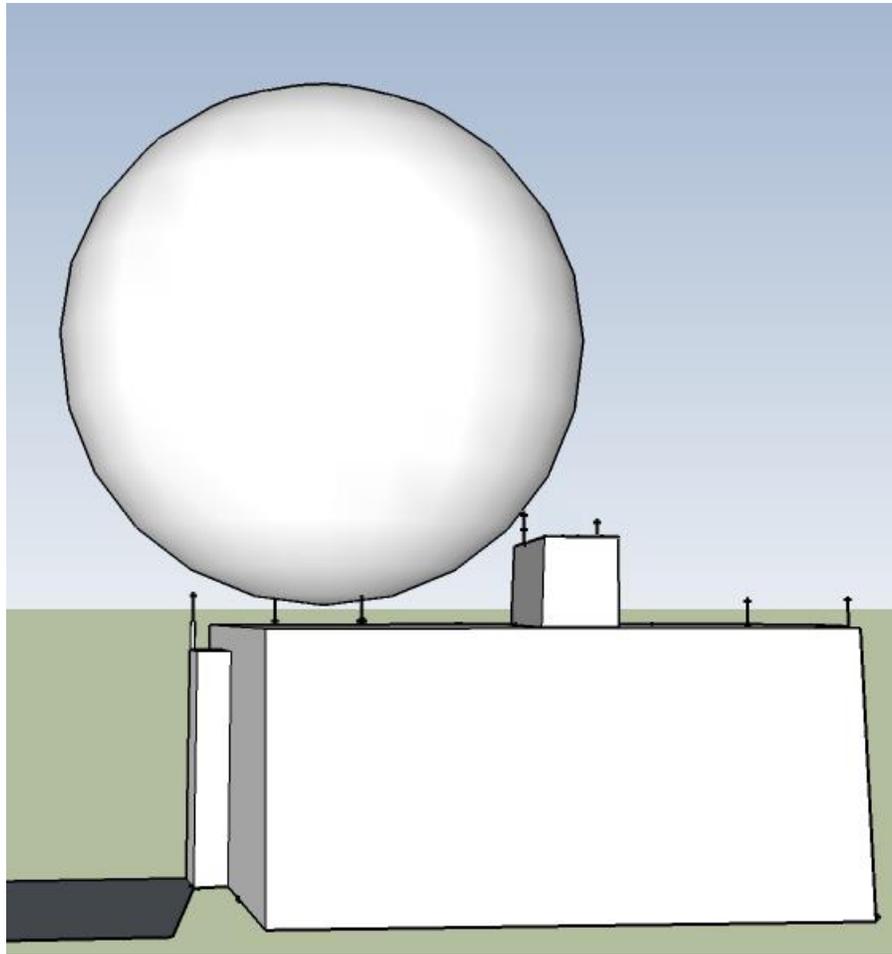


FIGURA 3.8 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 2 y 3.

La figura 3.9, muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 3, con dirección a la terminal aérea número 4, que tienen una altura de 3m por encima del edificio.

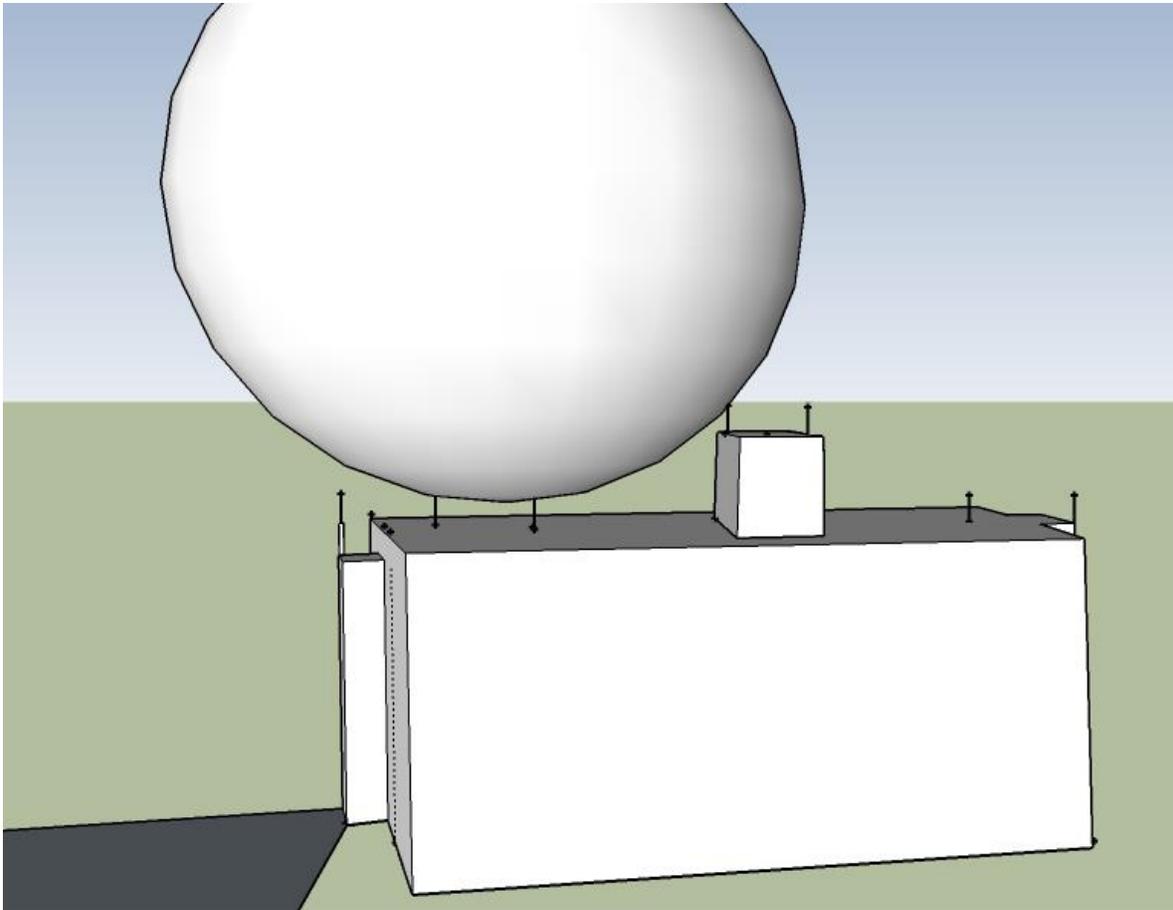


FIGURA 3.9 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 3 y 4.

La figura 4.0 y 4.1 muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30m obtenido de la tabla 1.4. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 4, con dirección a la terminal aérea número 5, que tienen una altura de 3m por encima del edificio.

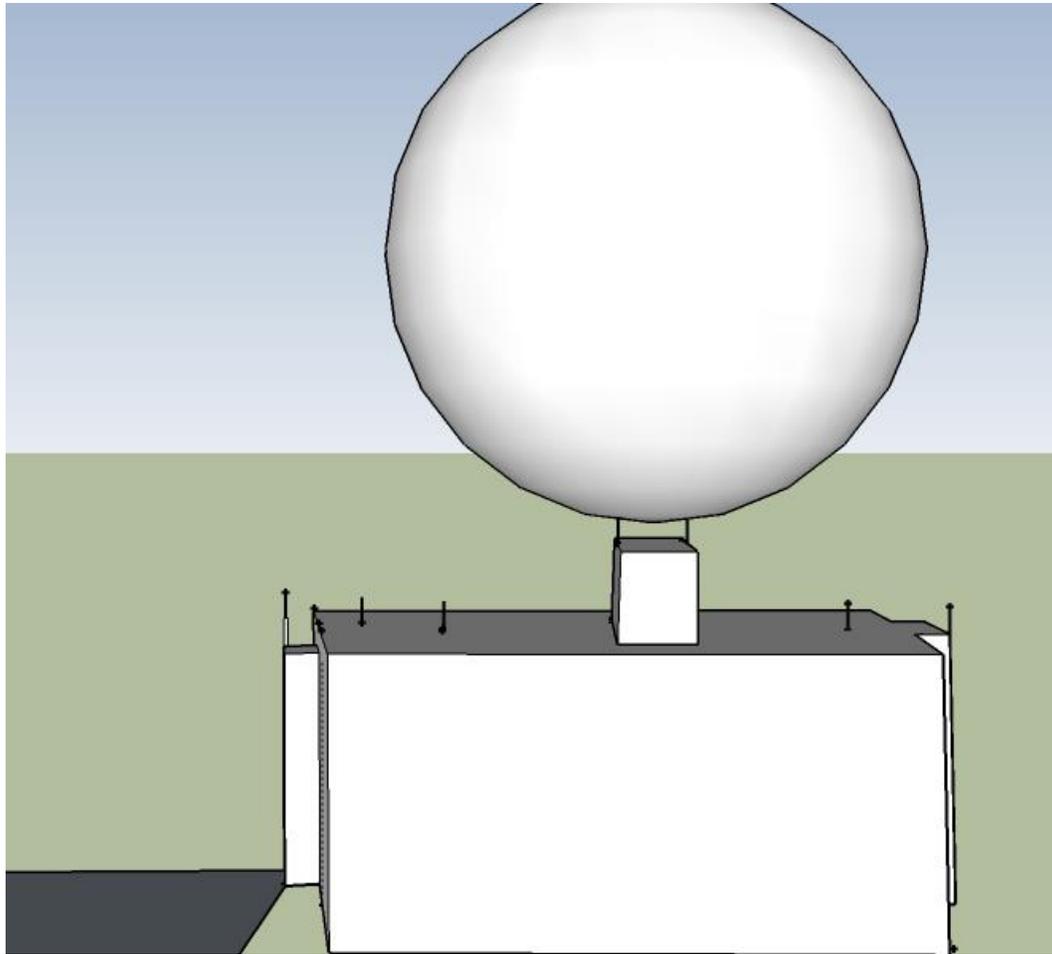


FIGURA 4.0

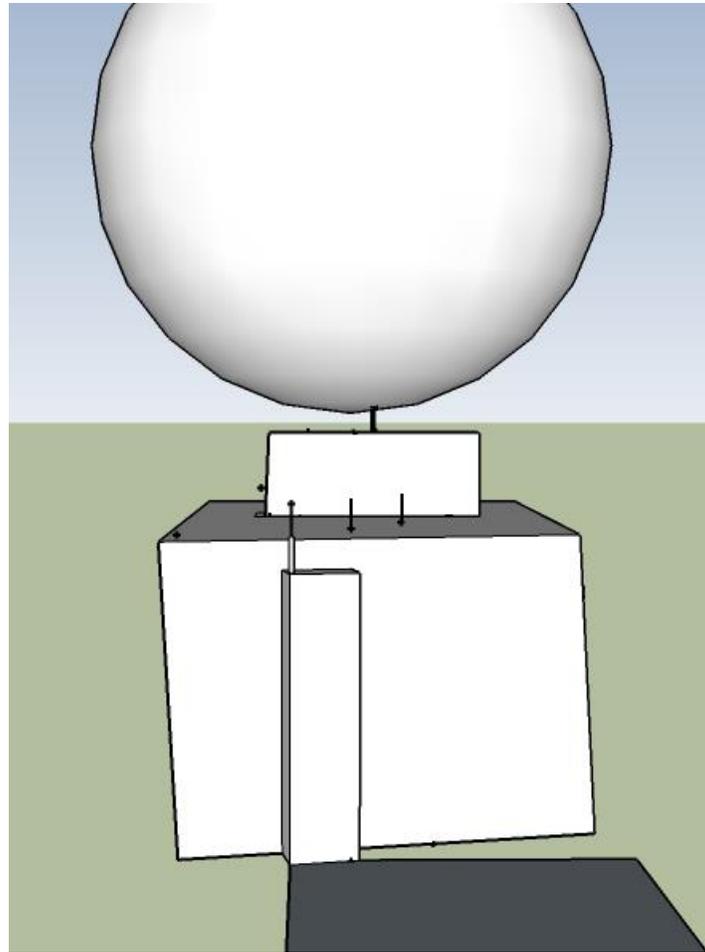


FIGURA 4.1

FIGURAS 4.0 Y 4.1 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 4 y 5.

La figura 4.2 muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30 m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 5, con dirección a la terminal aérea número 6, que tienen una altura de 3 m por encima del edificio.

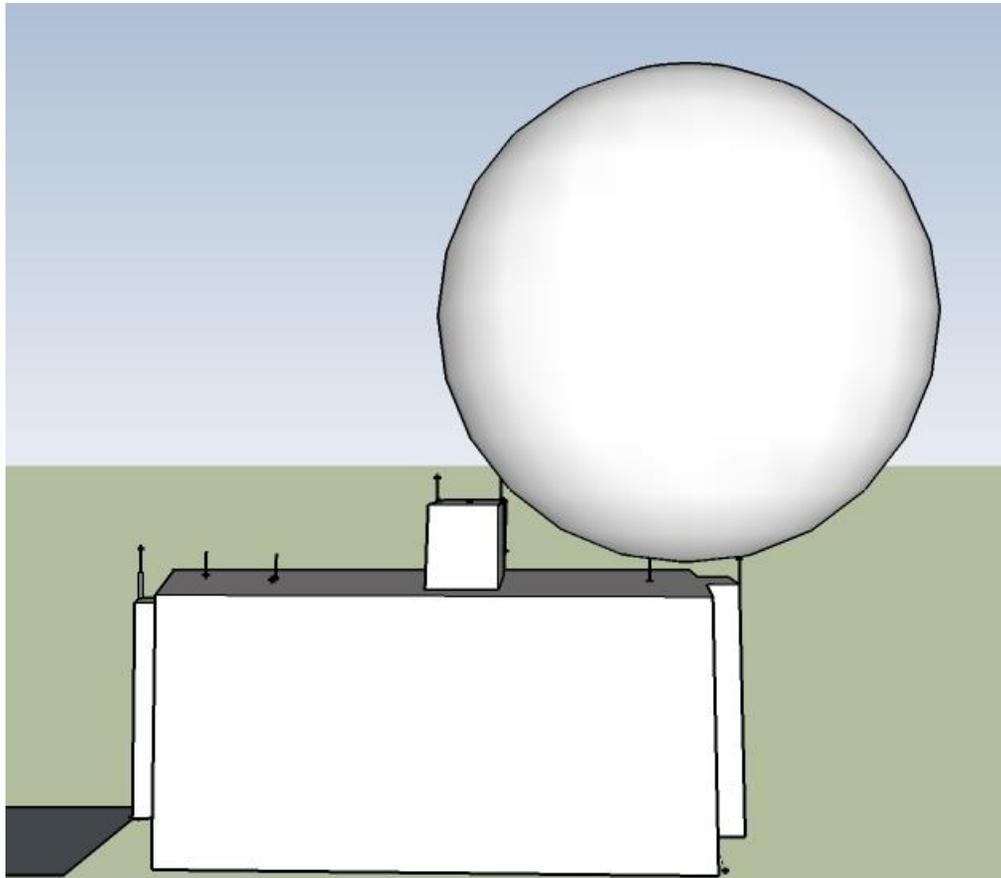


FIGURA 4.2 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 5 y 6.

La figura 4.3 muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30 m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 6, con dirección a la terminal aérea número 7, que tienen una altura de 3 m por encima del edificio.

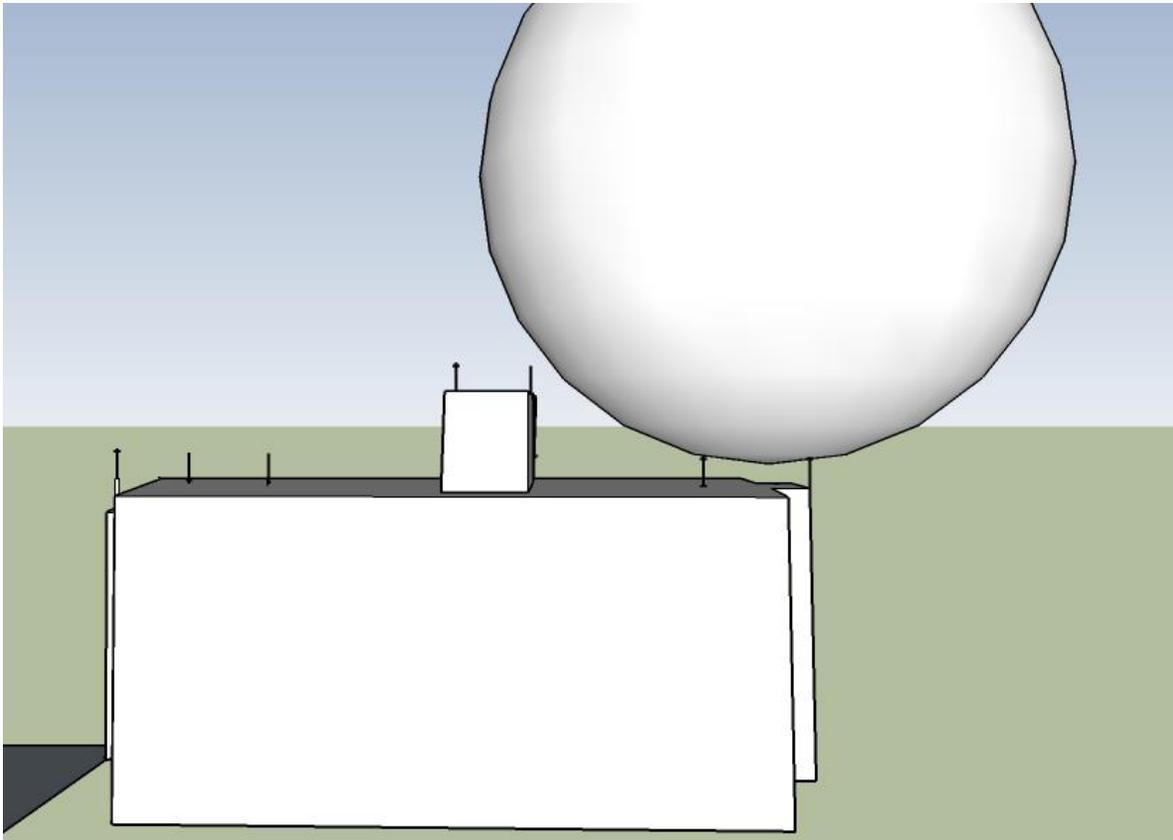


FIGURA 4.3 Rodamiento de la esfera en terminales aéreas 6 y 7.

La figura 4.4 muestra la protección que brinda el rodamiento de la esfera ficticia con un radio de 30 m obtenido de la tabla 1.3. La esfera sigue girando desde la terminal aérea número 7, que tiene una altura de 3 m por encima del edificio, con dirección al suelo.

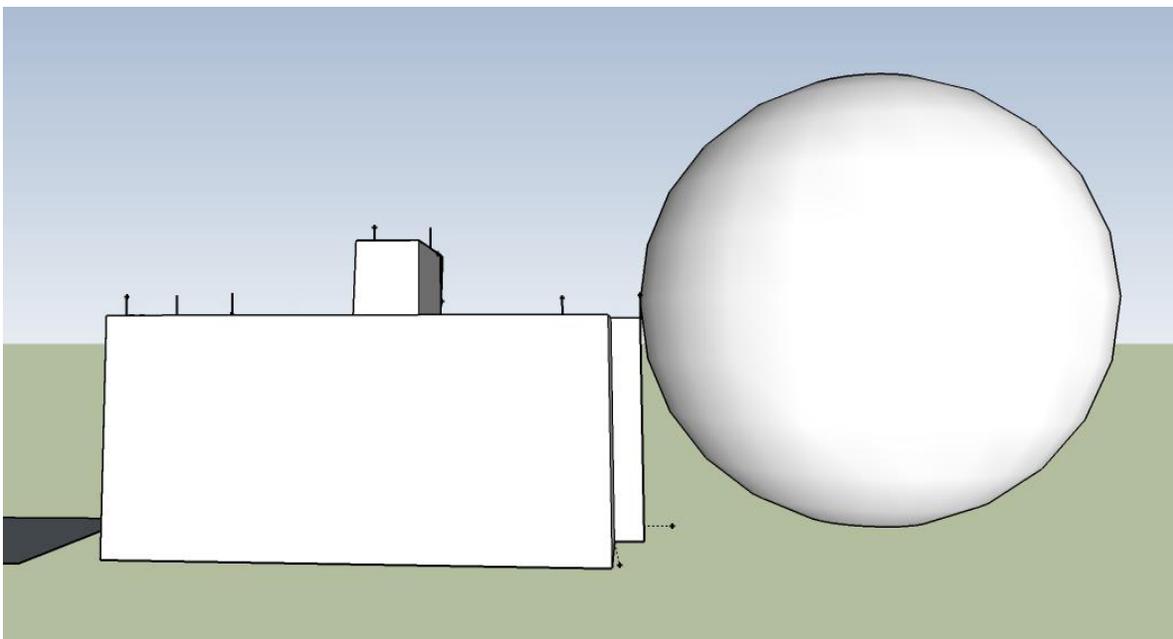


FIGURA 4.4 Rodamiento de la esfera de la terminal 7 a nivel del suelo.

En la figura 4.5 se muestra el área de protección contra descargas atmosféricas que tiene el edificio de oficinas, brindada por el rodamiento de la esfera ficticia con radio de 30 m, obtenido de la tabla 1.3.

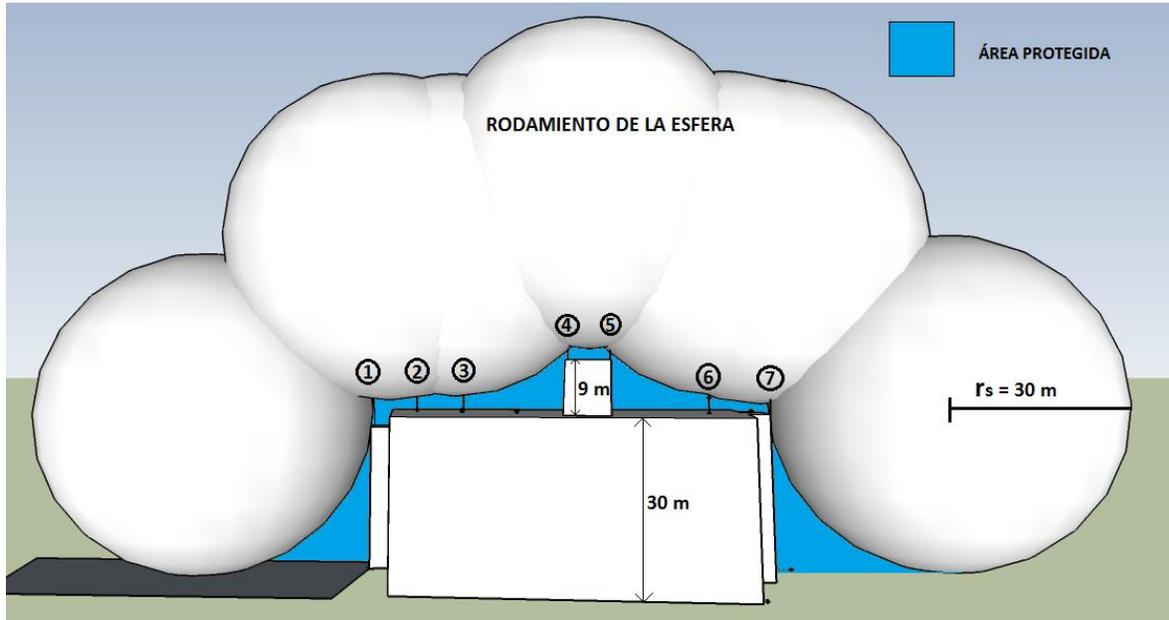


FIGURA 4.5 Área de protección del edificio público.

4. Determinación del tipo de terminales aéreas, aisladas o no aisladas

Por la inspección en el techo del edificio público, se deduce que el tipo de terminales aéreas serán no aisladas ya que no existe riesgo de explosión o fuego.

5. Consideración de instalación.

Terminales aéreas verticales: es necesario ubicar 7 terminales aéreas de cobre de 35 mm de sección transversal, tomada en base a las especificaciones de la tabla 1.5; y 3 m de largo en los siguientes sitios como se mostró en la figura 4.5.

Terminales aéreas horizontales: Es necesario ubicar una solera metálica que cumpla con las especificaciones de la tabla 1.5; en los siguientes sitios que se muestran en la figura 4.6 (línea de color rojo); para tener la unión del equipotencial y que la descarga se disipe en todos los conductores de bajada.

- » Sobre el contorno de cuarto de maquinas de elevadores que se encuentra ubicado sobre el techo del edificio.
- » Sobre el contorno de la azotea del edificio.

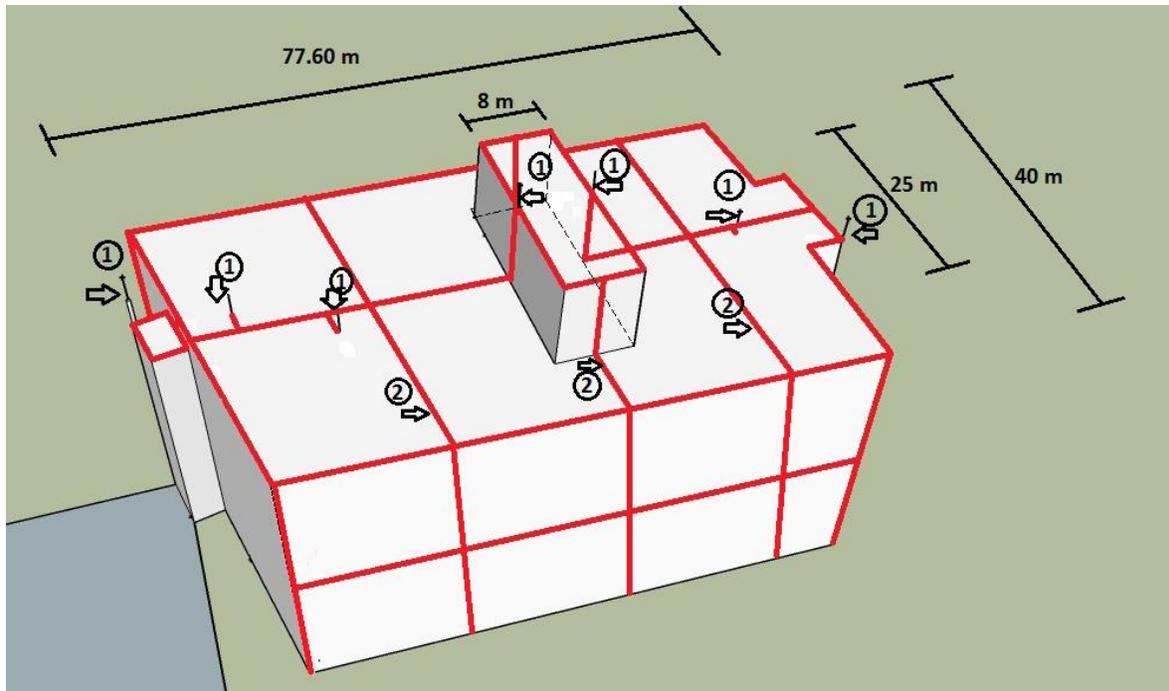


FIGURA 4.6 Ubicación de las terminales aéreas verticales y horizontales sobre la azotea del edificio.

- 1.- Terminal aérea vertical
- 2.- Terminal aérea horizontal.

4.4.2.2.- CONDUCTORES DE BAJADA

- 1.- Tipos de conductores de bajada.

El tipo de conductores de bajada serán de cobre de 16 mm^2 de sección transversal tomados en base a las especificaciones de la tabla 1.8 y 31 m de largo, ya que la altura del edificio es de 30m de largo, mas 1m de donde acaba el edificio a donde va a ir soldado con el electrodo puesta a tierra. Si los conductores de bajada son de calibre 4/0 o mayor, estos no requieren de protección excepto en casos donde este expuesto a daño físico severo en caso de ser un calibre menor deberá fijarse a la construcción o deberá correr por un tubo conduit. En caso de utilizar tubería conduit estos se deben conectar a tierra en ambos extremos. Para el caso del inmueble, se utilizara un conductor de 16 mm^2 , equivalente a 4/0, por lo tanto este no requiere de protección

- 2.- Trayectoria de los conductores de bajada y cálculo de las distancias de seguridad.

El edificio de oficinas se exige un número determinado de conductores de bajada, dependiendo del nivel de protección utilizado, en este caso de utilizo el nivel de protección II, por lo que la distancia promedio deberá ser de 20 m como máximo entre cada conductor de bajada; sin embargo, debido a restricciones prácticas de instalación , se instalaran diez trayectorias de conductores de bajada, en los

lugares indicados en la figura 4.7 (línea roja) unidos equipotencialmente a 15m de altura del edificio, y la distancia de seguridad de cada conductor para evitar accidentes con los seres vivos es de 1.02 m.

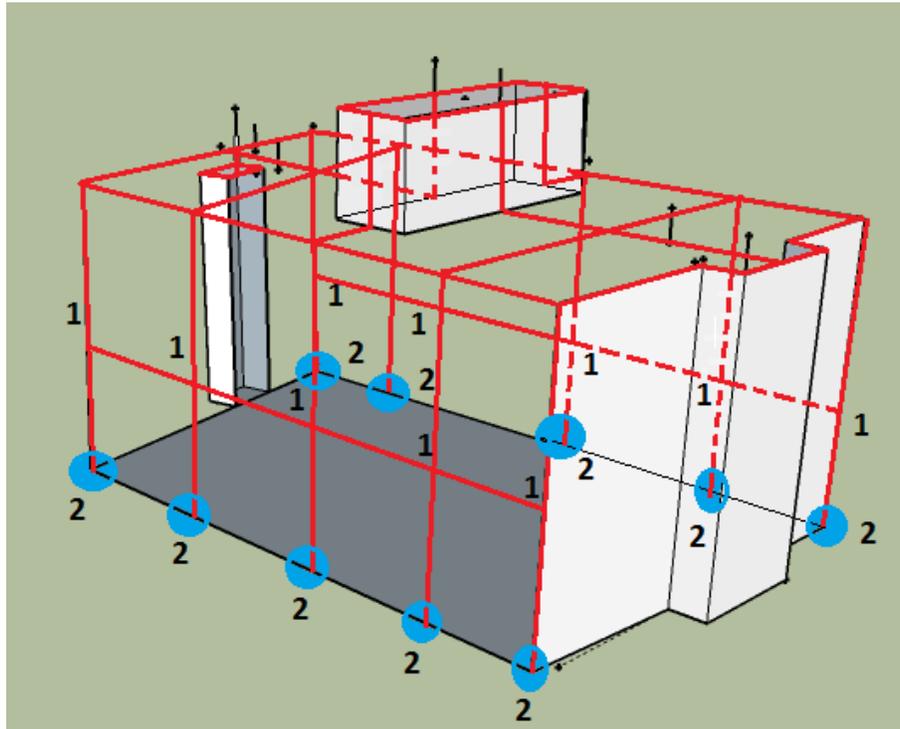


FIGURA 4.7 Ubicación de los conductores de bajada del edificio.

Descripción:

- 1.- Conductor de baja resistencia (líneas en color rojo).
- 2.- Distancia de seguridad (líneas en color azul).

4.4.2.3.- SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

1.- Tipos de electrodos puesta a tierra.

El tipo de electrodo puesta a tierra serán de cobre (cilíndrico sólido) de 53.5 mm^2 tomados en base a las especificaciones de la tabla 2.1

2.- Diseño del SPT.

En el inmueble, el número de electrodos de puesta a tierra ya sea individual o en arreglo, es el que determina el valor de resistencia a tierra. En este caso se propone utilizar siete electrodos puesta a tierra de cobre cilíndrico de 53.5 mm^2 ; con un arreglo doble en paralelo para reducir en un 55% el valor obtenido, también se propone utilizar tierra preparada con una resistencia promedio menor a 10Ω alrededor de cada electrodo puesta a tierra, de este modo se garantiza que la descarga se disipara de forma segura en el suelo, ya que los resultados serían de acuerdo a los intervalos establecidos en el punto 3.1.2.3. En la figura 4.8 se muestran los sitios donde estarán ubicados los electrodos puesta a tierra.

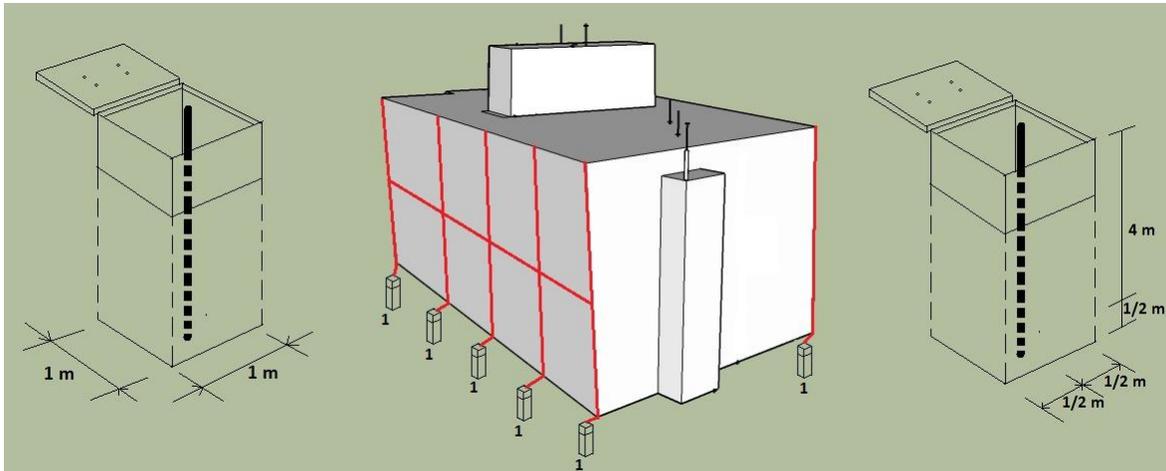


FIGURA 4.8 Ubicación de los electrodos puesta a tierra.

Descripción:

1.- Electrodos puesta a tierra.

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

El diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas, como se observa en la figura 4.9 constara de siete terminales aéreas de cobre. Estas son las encargadas de recibir las descargas atmosféricas y llevarlas hasta tierra de una forma segura, por medio de 10 conductores de baja resistencia de cobre de 16mm^2 , unidos equipotencialmente a 15 m de altura del edificio, estos son conectados entre las terminales aéreas y los electrodos puesta a tierra. Los siete electrodos, puesta a tierra de cobre de 53.5mm^2 , tienen un arreglo doble en paralelo y serán instalados de forma vertical, estos son responsables de la dispersión de la corriente eléctrica en el suelo.

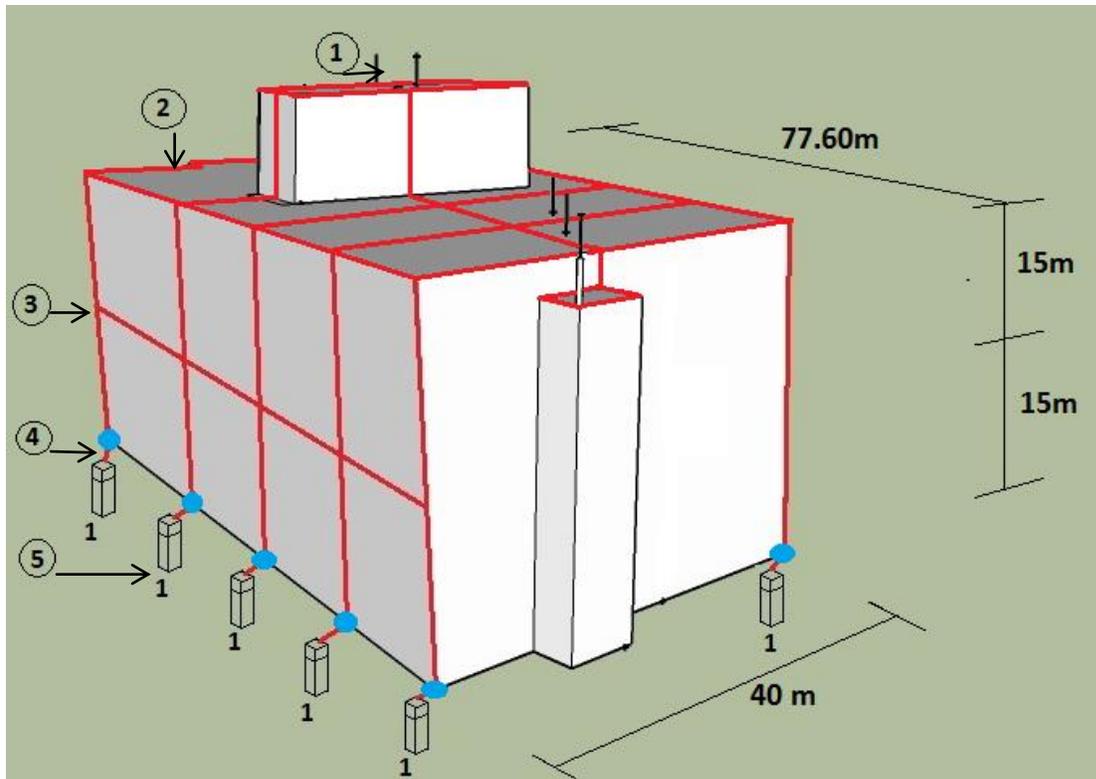


FIGURA 4.9 Diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Descripción:

1. Terminal aérea vertical.
2. Terminal aérea horizontal.
3. Conductor de baja resistencia.
4. Distancia de seguridad.
5. SPT.

CAPITULO 5 ELEMENTO ADICIONAL Y MANTENIMIENTO AL SPT

Como consideración adicional al SEPTTE, se propondrá la integración de un contador de rayos, el cual permitirá llevar un control de la frecuencia con que se deba llevar a cabo el mantenimiento preventivo de la instalación.

Considerando que la resistencia de la conductividad de nuestro sistema de puesta a tierra no debe superar los 10 ohmios; podemos mencionar que cuando un rayo descarga a tierra, parte de ella tiende a cristalizarse con el tiempo, perdiendo conductividad y aumentando su resistencia.

Esto hace que el pararrayos pierda efectividad no siendo tan atractivo para los rayos, y éstos podrían caer en otros sitios menos resistivos para llegar a tierra.

El contador de rayos se instala en un lugar accesible para su inspección en el recorrido de la bajante. El conteo se realizará cuando circulen más de 700 amperios a través de la bajante, esto permitirá que la corriente active el contador mecánico mediante un toroide, registrando la descarga a tierra.



La instalación de contadores de rayos en los bajantes permite el control y verificación inmediata del estado de la instalación de protección después de cualquier impacto de rayo: “Un sistema de protección contra el rayo ha de ser verificado después de cualquier impacto de rayo registrado en la estructura”.

5.1 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO AL SEPTTE

Está demostrado que con el tiempo, las descargas de rayos sobre un pararrayos tienden a cristalizar la tierra donde se encuentran enterrados los electrodos. Esto trae a consecuencia la desintegración



paulatina de las picas y la pérdida de conductividad de la tierra, superando la resistencia de 10 ohmios.

La inspección visual de la bajante en todo su recorrido es fundamental para asegurarnos que está en condiciones, viendo que todos los soportes están fijados. Y por último un vistazo a la punta y el cabezal captador.

Si se deja de lado el mantenimiento, el rayo cuenta con una alta probabilidad de caer en otro sitio como en líneas eléctricas, árboles, e instalaciones industriales con la seguridad de daños.

Contando con pararrayos, sería negligente dar por seguro una protección total. No sabemos cómo va a caer un rayo, pero si contamos con un alto porcentaje de certeza que atrayéndolos con una buena instalación para su descarga a tierra, protegeremos nuestras instalaciones.

CAPITULO 6. COSTOS.

En este capítulo se presentara el aspecto económico para la instalación del sistema de protección contra descargas atmosféricas para un edificio público, en donde se muestra el presupuesto de ingeniería y mano de obra, el presupuesto de los materiales a utilizar y de los costos adicionales que se tengan. El presupuesto de este proyecto fue calculado en base a las dimensiones que tiene el edificio pero puede variar debido a las modificaciones que este pueda tener.

6.1.- COSTOS ESTIMADOS DE INGENIERÍA Y MANO DE OBRA.

Los costos estimados de ingeniería y mano de obra fueron cotizados conforme al valor establecido por lo que marca la Secretaria del Trabajo (ANEXO D). En la tabla 2.4 se observa el número de personas involucradas y cuánto gana cada uno de ellos en base a su profesión.

La estimación de mano de obra es con respecto al salario que otorgaría el licitante ganador a sus empleados, mas sin embargo estos precios aumentarían dependiendo de las condiciones que marquen los anexos técnicos que la dependencia establezca como bases para los participantes de la licitación pública del servicio de pararrayos.

Tabla 2.4 Costos estimados de ingeniería y mano de obra.

| DESCRIPCIÓN | TIEMPO LABORAL DIARIO | CANTIDAD | SALARIO BASE SEMANAL | TIEMPO DE TRABAJO | SALARIO TOTAL |
|-----------------------|-----------------------|----------|----------------------|-------------------|---------------|
| Ingeniero | 8 horas | 1 | \$ 2,500.00 | 22 días | \$ 9,166.67 |
| Electricista | 8 horas | 2 | \$ 1800.00 | 12 días | \$ 7,200.00 |
| Ayudante electricista | 8 horas | 2 | \$ 1,400.00 | 12 días | \$ 5,600.00 |
| Albañil | 8 horas | 4 | \$ 1,000.00 | 10 días | \$ 6,666.67 |
| Soldador | 8 horas | 2 | \$ 1,800.00 | 10 días | \$ 6,000.00 |
| TOTAL | | | | | \$ 34,633.34 |

6.2.- COSTOS ESTIMADOS DE MATERIALES UTILIZADOS

Los costos estimados de los materiales utilizados fueron cotizados con forme a las especificaciones vistas en las tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5. En la tabla 2.5 se presenta una lista de los materiales a utilizar así como su descripción, el número de piezas y el precio que tienen estas.

Tabla 2.5 Costos estimados de materiales utilizados.

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|--|----------|--------|-----------------|--------------|
| Terminal aérea de cobre de 35 mm ² | 7 | Pieza | \$ 3,500.00 | \$ 24,500.00 |
| Base para terminales aéreas | 7 | Pieza | \$ 2,100.00 | \$ 14,700.00 |
| Conductor de bajada de cobre de 16 mm ² | 443.5 | metro | \$ 180.00 | \$ 79,740.00 |
| Electrodo puesta a tierra de cobre, cilíndrico solido 53.5 mm ² | 20 | Pieza | \$ 800.00 | \$ 16,000.00 |
| Solera de acero al carbón galvanizada de ¼" de espesor x 1" de ancho | 370 | metro | \$ 98.08 | \$ 36,260.00 |



| | | | | |
|--------------|----|-------|-----------|---------------|
| Cemento | 7 | Bulto | \$ 120.00 | \$ 840.00 |
| Arena | 15 | Bote | \$ 8.00 | \$ 120.00 |
| Grava | 15 | Bote | \$ 8.00 | \$ 120.00 |
| TOTAL | | | | \$ 172,280.00 |

6.3.- ESTIMACIÓN DE COSTOS ADICIONALES.

Para la estimación de costos adicionales se considera el 10% del costo de los materiales y el costo de ingeniería y mano de obra que es de \$ 20,674.334.

6.4.- ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

En la tabla 2.6 se observa la estimación del costo total del proyecto incluido el IVA en base a la suma total de los resultados obtenidos por los costos de ingeniería y mano de obra, los costos de los materiales y los costos adicionales que tiene el proyecto.

Tabla 2.6 Costos estimados de materiales

| COSTOS | TOTAL |
|------------------------------------|-----------------------|
| Costo de ingeniería y mano de obra | \$ 34,633.34 |
| Costo de materiales | \$ 172,280.00 |
| Costos adicionales | \$ 20,691.334 |
| Subtotal | \$ 227,604.674 |
| IVA | \$ 36,416.75 |
| TOTAL | \$ 491,626.098 |

6.5.- COSTOS ESTIMADOS DE REPARACIÓN O SUSTITUCION DE EQUIPOS BASICOS DENTRO DE UNA OFICINA, DAÑADO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

En la tabla 2.7 se presentan los costos de reparación o sustitución de algunos equipos eléctricos y electrónicos básicos que se encuentran dentro de una oficina, si estos son dañados por la caída de las descargas atmosféricas. Se considera que en el edificio se tienen 7 pisos y una planta baja, y en la tabla solo se estima los daños que se pueden tener dentro de un piso y por una unidad.

Tabla 2.7 Costos estimados de materiales

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO POR REPARACIÓN | PRECIO DEL PRODUCTO NUEVO. |
|-------------------------|----------|-----------------------|----------------------------|
| Computadora | 1 | - | \$ 10,000.00 |
| Horno de microondas | 1 | \$ 450.00 | \$ 1,800.00 |
| Unidad lavadora de aire | 1 | - | \$ 8,000.00 |
| Instalación eléctrica. | 1 | - | \$ 42,000.00 |
| TOTAL | | | \$61,800.00 |



6.6.- ESTIMACIÓN DEL COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO.

El beneficio de esta proyecto se pretende obtener a largo plazo ya que el costo total del proyecto es de \$ 491,626.098 y el costo de los daños causados por la caída de una descarga atmosférica es aproximadamente de \$ 450.00 por reparación de los quipos dañados y de \$61,800.00, si se compran los equipos nuevos dentro de un piso de oficinas, como la computadora, horno de microondas, equipo de aire acondicionado e instalación eléctrica, a esto hay que considerar que existen en promedio 200 equipos de computo por piso, sin mencionar los daños que pueden ser causados al edificio o la integridad física de las personas que laboran en éste. Estas cantidades varían dependiendo el número de equipos dañados y del número de niveles del edificio, por lo anterior se considera conveniente la instalación del proyecto para evitar los tiempos perdidos del uso de los equipos dañados hasta que estos se reparan o repongan en su totalidad. Se deduce que la inversión se recuperara si se toma en cuenta el costo de los equipos perdidos en el tiempo estimado en el que podrían caer cuatro descargas atmosféricas dentro del inmueble.



CONCLUSIONES

La 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 índoles extranjero.

Esta tesis además de exponer los puntos que las normas mexicanas mencionan con respecto a la protección tanto de seres vivos como del inmueble, se explico por medio de un caso práctico la aplicación de los conceptos básicos que dichas normas enmarcan. Cabe recalcar que para una completa protección se debe instalar junto con el sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE), el sistema interno de protección contra tormentas eléctricas (SIPTE), solo si un estudio avalado lo determina (ver anexo C).

La intención de este proyecto, como propuesta, es realizar una comparación del costo- beneficio que se puede obtener si se adopta la instalación de un SEPTE.

El costo del proyecto es minoritario comparado con el costo de los daños causados por la caída de una descarga atmosférica, entiéndanse estos como la reparación de los equipos dañados y aumentando si existe la necesidad de comprar los equipos nuevos dentro de un edificio de oficinas, sin mencionar los daños que pueden ser causados a la integridad física de las personas que laboran en éste. Por lo que se considera que es prudente y conveniente la instalación del proyecto para evitar los tiempos perdidos por la ausencia de los equipos dañados hasta que estos se reparen o repongan en su totalidad.



FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFIA

- Enriquez G.; El ABC de las instalaciones eléctricas en edificios y comercios, Limusa, 2009.
- Norma NMX-J-549 ANCE 2005. Sistema de protección contra tormentas eléctricas.
- Norma NMX-J-603 ANCE 2008. Guía de aplicación del sistema de protección contra tormentas eléctricas.
- Lopez G.; Sistema de tierras en redes de distribución, 1993, México, D.F.

PAGINAS DE INTERNET

- [http://www.lip.tel.uva.es/-nacho/docencia/EMC/trabajos0203/Proteccion contra descargas atmosfericas/index.htm](http://www.lip.tel.uva.es/-nacho/docencia/EMC/trabajos0203/Proteccion%20contra%20descargas%20atmosfericas/index.htm)
- <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>
- <http://www.geocities.ws/lofl3k/pararrayos.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Botella_de_Leyden



ANEXO A GLOSARIO DE DEFINICIONES.

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.

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

Notas: Ejemplos en el uso de estos términos son:

- Terminales aéreas naturales.
- Conductores de bajada naturales.
- Electrodo de puesta a tierra natural.

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.

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.

Corriente de rayo (I): Aquella que circula al punto de incidencia, asociada con el impulso de retorno.

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.

Densidad de rayos a tierra: Numero de rayos promedio por Km^2 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 la 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.

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, con propiedades eléctricas y mecánicas adecuadas.

Energía específica (WIR): Energía disipada por la corriente de rayo en una resistencia unitaria. Es la integral del tiempo del cuadro 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.

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.

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

Notas: Por ejemplo, una frecuencia de rayo aceptado es de 1 rayo cada 20, 50 o 100 años. A mayor el intervalo de años, menor 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 1s.

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

Notas: Ejemplo de estar parte metálicas son: tuberías, escaleras, riel guía para elevadores, ventilación, ductos para calefacción y aire acondicionado y piezas de 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 cargas discontinuas en el aire. El líder ascendente es de polaridad opuesta a la carga del líder descendente.

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 el aire.

Notas: El líder escalonado ascendente es algunas veces referido simplemente como líder ascendente.

Nivel de protección: Terminio que denota la clasificación de un SPTE, de acuerdo con su eficiencia.

Notas: El nivel de protección expresa la efectividad de un SPTE para proteger un espacio contra los efectos de 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.

Notas: Un rayo puede tener uno o mas puntos de incidencia.

Rayo de nube a tierra: Descarga eléctrica de origen atmosférico entre la nube y la tierra con uno o más impulsos de retorno.

Notas: En lo sucesivo, la palabra rayo tendrá el significado de un rayo de nube a tierra.

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

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

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.

Notas: Este dispositivo es conocido como supresor de picos, supresor de transitorios, supresor de sobretensiones transitorias (TVSS, SPD). Existen supresores para corriente alterna, corriente continua, radio frecuencia, entre otro.

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.

Sistema de protección contra descargas 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 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 SIPTE, el cual es independiente de cualquier otro sistema de puesta a tierra en la instalación eléctrica.

Sistema de terminales aéreas: Conjunto de elementos aéreos cuya finalidad es ofrecer un punto de sacrificio (contacto) para la incidencia 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 externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE): Conjunto de elementos, para interceptar (terminales aéreas), conducir (conductores de baja resistencia) y disipar (red de puesta a tierra), en forma eficiente la corriente de rayo.

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.

Supresor de sobretensiones transitorias (SSTT): Dispositivo destinado a proteger el equipo eléctrico y electrónico sensible, limitando las sobretensiones y las sobrecorrientes transitorias causados 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.

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.

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).

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.

Valor pico de corriente de rayo (I): 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 de específico $[i(t_2) - i(t_1)]$ dividido entre el intervalo de tiempo $[t_2 - t_1]$.



ANEXO B MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.

B1 GENERALIDADES

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

B1.1 RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad también conocida como resistencia específica es la propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, la cual está determinada por el tipo de suelo, el contenido de humedad, su composición química y la temperatura. La resistividad se mide en Ohm metro (Ωm) y existen dos formas para determinarla, una es empírica mediante tabulación y conocimiento del terreno y la otra efectuando la medición directamente en el terreno.

En la tabla B.1 se muestra una clasificación general de la resistividad que tiene el suelo:

TABLA.- B.1 Clasificación general de la resistividad del suelo

| CLASIFICACION | VALOR DE LA RESISTIVIDAD |
|------------------------|-------------------------------|
| Tierra orgánica húmeda | 10 Ohm metro (Ωm) |
| Tierra húmeda | 100 Ohm metro (Ωm) |
| Tierra seca | 1000 Ohm metro (Ωm) |
| Roca | 5700 Ohm metro (Ωm) |

La resistividad del suelo depende de varios parámetros como son:

- » Contenido de agua (importante en las variaciones cíclicas entre estaciones del año)
- » El contenido de las sales.
- » La temperatura.
- » El grado de compactación.
- » La heterogeneidad.

B2 MATERIAL Y EQUIPO.

- 1) Equipo calibrado de medición de resistencia de tierra con las características siguientes:
 - » Intervalo de frecuencia de 100Hz a 200Hz o mayor.
 - » Posibilidad de proveer alta y baja corriente con valores de 9 mA a 250 mA.

- 2) Accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición.
- 3) En caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre de tipo SCE o SCT con una designación de uso más común de 22.08 mm² (14 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 cm y un diámetro mínimo de 13 mm de alguno de los siguientes materiales:
 - » Acero inoxidable.
 - » Acero con recubrimiento de cobre
 - » Acero galvanizado.

B3 PRINCIPIO DE MEDICION.

- 4) Esta norma recomienda el método de los 4 electrodos (dos de corriente y dos de potencia) o método de Wenner, el cual ha demostrado ser siempre efectivo, ya que no necesita de electrodos auxiliares profundos.
- 5) El procedimiento de medición utiliza cuatro electrodos de prueba auxiliares enterrados en línea recta y a una distancia uniforme entre ellos. Véase figura B.1. una fuente de corriente conectada entre los electrodos auxiliares externos suministra una corriente a tierra. El flujo de esta corriente en la tierra produce una variación de potencia en el suelo, generando una diferencia de potencial entre los electrodos auxiliares internos. La relación entre la diferencia de potencial (V) y la corriente de prueba (I) corresponde a la resistencia del suelo, la cual es utilizada para determinar la resistividad aparente. Cabe aclarar que existen equipos de medición que proporcionan la medición de la resistividad aparente de manera directa.

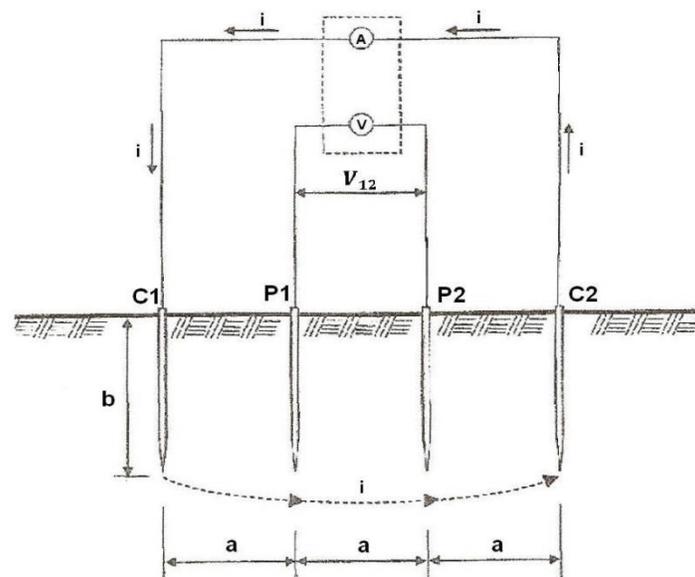


FIGURA.- B.1 Método de los cuatro electrodos o método de Wenner.

Notas: Puede utilizarse otro método de medición para la resistividad del terreno siempre y cuando los resultados sean equivalentes al método de Wenner.



B4 PROCEDIMIENTO DE MEDICION.

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

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

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

Dónde:

a = Es la distancia entre los electrodos auxiliares, en *m*.

b = Es la profundidad de los electrodos auxiliares, en *m*.

R = Es la resistencia resultante del cociente V/I , en Ω .

ρ = Es la resistividad aparente del suelo, en Ωm .

n = Es el factor resultante de aplicar los valores en el denominador.

en *A*.

El valor máximo recomendado para la profundidad de los electrodos *d*

V = Es la diferencia de potencial entre electrodos auxiliares internos en *V*.

I = Es la corriente de prueba entre electrodos auxiliares externos e prueba auxiliares es de 10% de la distancia *a* para condiciones prácticas en las que se mantiene la desigualdad $b < a/20$ (la distancia entre electrodos auxiliares es mucho mayor que la profundidad de enterramiento), La ecuación (B-1) puede simplificarse a:

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

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

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

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

La figura B-2 ilustra un ejemplo de medición de resistividad del suelo en un área determinada mediante direcciones ortogonales o diagonales.

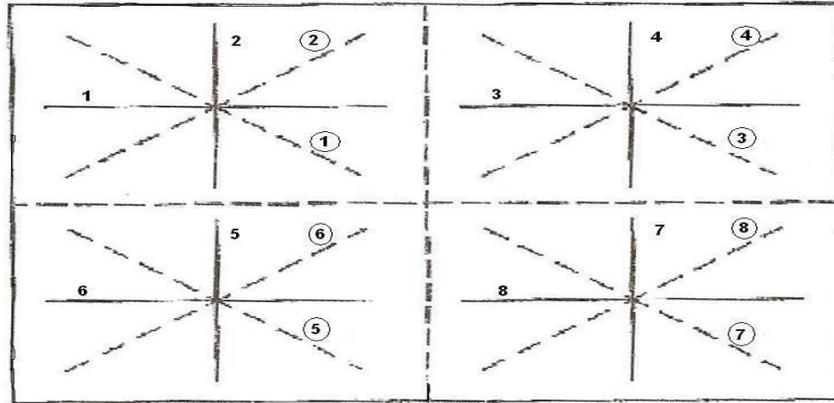


FIGURA.- B.2 Ejemplo de trayectoria de direcciones recomendadas para la medición de la resistividad del suelo.

Los resultados de las mediciones se registran en una tabla B.2 como se indica a continuación:

TABLA.- B.2 Registro típico de mediciones de resistividad.

| NUMERO DE MEDICIONES | DISTANCIA DE SEPARACION (m) | DIRECCION 1 (Ωm) | DIRECCION 2 (Ωm) | DIRECCION 3 (1 Ωm) | DIRECCION 4 (1 Ωm) | DIRECCION 5 (1 Ωm) |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 | ρ_{11} | ρ_{21} | ρ_{31} | ρ_{n1} | ρ_1 |
| 2 | 2 | ρ_{12} | ρ_{22} | ρ_{32} | ρ_{n2} | ρ_2 |
| 3 | 3 | ρ_{13} | ρ_{23} | ρ_{33} | ρ_{n3} | ρ_3 |
| 4 | 4 | ρ_{14} | ρ_{24} | ρ_{34} | ρ_{n4} | ρ_4 |
| 5 | 6 | ρ_{15} | ρ_{25} | ρ_{35} | ρ_{n5} | ρ_5 |
| 6 | 8 | ρ_{16} | ρ_{26} | ρ_{36} | ρ_{n6} | ρ_6 |

B5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

El objetivo de medir la resistividad es poder representar al suelo mediante un modelo práctico, con el fin de estimar el comportamiento de la red de puesta a tierra del Sistema de Protección Contra Tormentas Eléctricas. Los modelos más comunes utilizados en la representación del suelo son los siguientes:

- » Suelo uniforme.
- » Suelo heterogéneo o de dos capas.

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



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

B5.1 SUELO UNIFORME.

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

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

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

Donde:

n : Es el número de mediciones en cada dirección realizada en el campo.

$\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n$: Son las resistividades promedio calculadas en cada medición.

B5.2 SUELO HETEROGENEO DE DOS CAPAS.

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

Una curva de la resistividad aparente del suelo se considera heterogénea, cuando existe una tendencia ascendente o descendente, como se ilustra en la figura B y C de la figura B-3, sino es posible obtener un modelo de dos capas para el suelo, puede obtenerse un valor indicativo de la resistividad aparente ρ de suelo, conocido como resistividad uniforme equivalente, mediante la siguiente expresión:

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

En donde ρ_{max} y ρ_{min} representan el valor máximo y el valor mínimo. Respectivamente de la resistividad aparente promedio obtenido en la última columna de la tabla B.1.

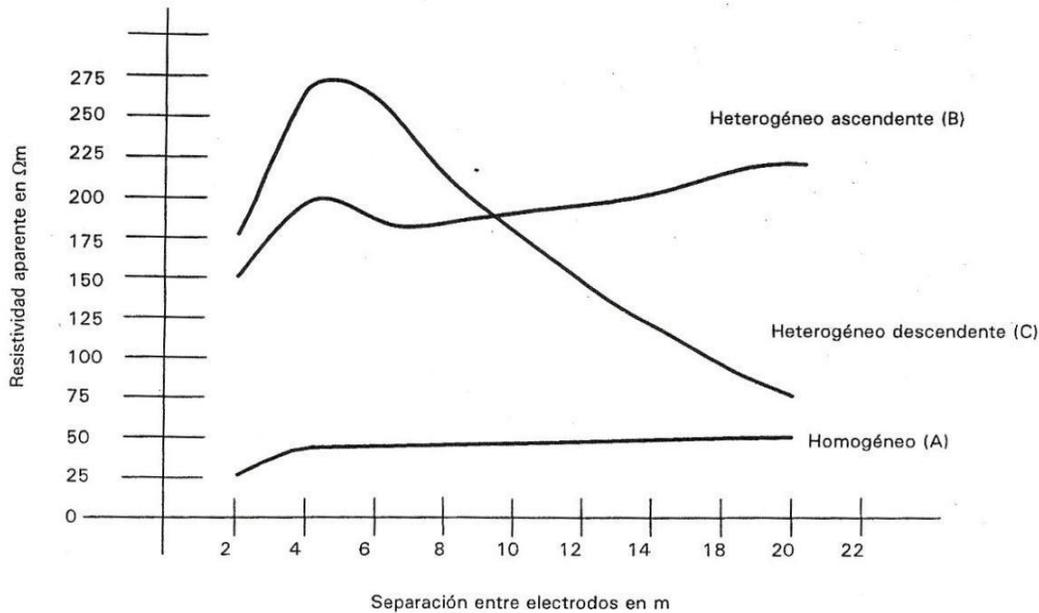


FIGURA.- B.3 Curvas típicas de la resistividad aparente del suelo.

B6 INFORME DE RESULTADOS.

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

- » Equipo utilizado.
- » Arreglo de medición.
- » Valores obtenidos de la medición contenidos en la tabla.
- » Grafica de los valores de resistividad contra distancia de separación de electrodos.
- » Valores estimados de la resistividad representativa del suelo.
- » Observaciones.
- » Responsable de efectuar la medición.
- » Fecha de realización de la medición.

ANEXO C DISEÑO DEL SISTEMA INTERNO DE PROTECCIÓN (SIPTE)

C1 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 producto común.

La función de la unión equipotencial es reducir la diferencia de potencial generada por rayos cuando éste incide en los elementos de intercepción de un SEPTTE, 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 o 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:

- » 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.
- » 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 aplicaciones de fuerza deben ser aisladores, en la tabla C.1 se presentan las dimensiones mínimas para las barras de unión.

TABLA.- C.1 Dimensiones mínimas para la barra de unión.

| MATERIAL | CONFIGURACIÓN, ANCHO Y ESPESOR. | CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS |
|----------|---|---|
| Acero | Placa 250 mm x 250 mm x 6.35 mm | Acero al carbón |
| Cobre | Placa solida Ancho x espesor 200 mm x 6.35 mm | Cobre electrolítico de 99.9% de pureza |

Con un SEPTTE no aislado como medio de protección, debe cumplirse los puntos de unión del equipotencial (UE) mínimo siguiente; como se muestra en la figura C-1.

- » A nivel del techo, cuando la estructura a proteger este parcial o totalmente cubierta por elementos metálicos, debe tenerse especial cuidado de lograr la UE entre los elementos del

SEPTE y los elementos metálicas, con una conexión firme y continua al SPT a partir 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.

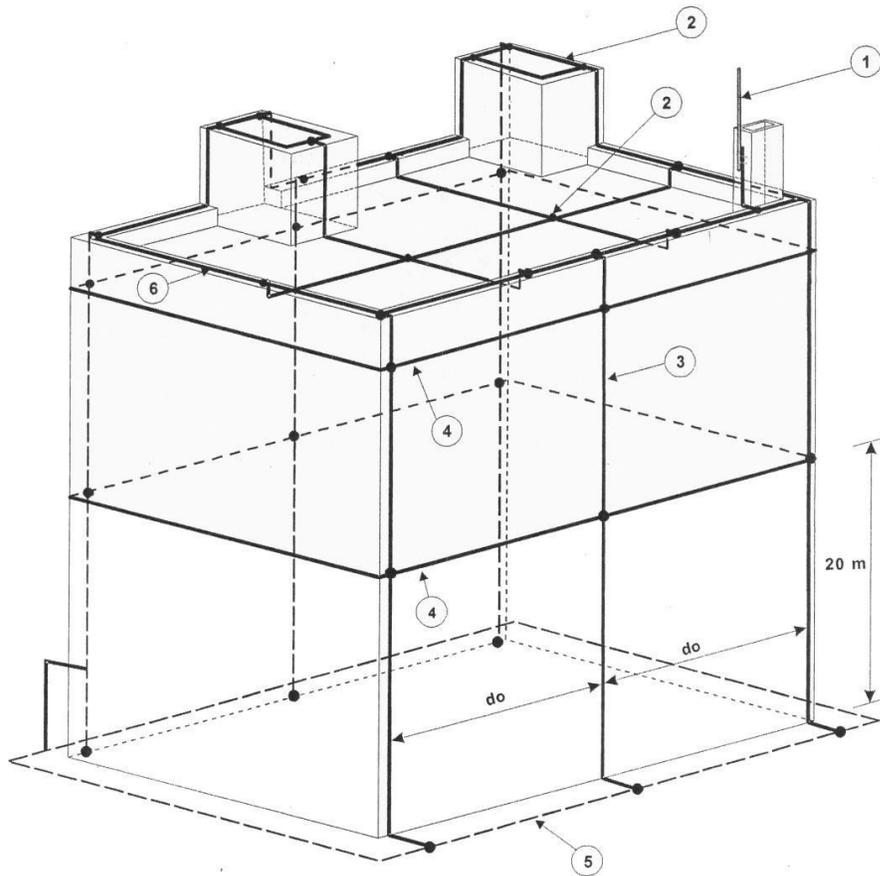


FIGURA.- C.1 Diagrama entre los elementos del SEPTE con el SPT, para lograr la UE en edificios o estructuras de 60m o menor, construida de concreto armado o perfiles metálicos.

Descripción:

1. Terminal aérea
2. Terminal aérea horizontal.
3. Conductor de bajada.
4. Conductor de anillo equipotencial.
5. SPT
6. Conexión de terminal aérea y conductores de bajada a nivel de techo.

Cuando las partes metálicas de la estructura (vigas y traveses de acero) se utilicen como conductores de bajada naturales, estas 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 entren y salen. Todas estas interconexiones para lograr la UE deben tener una conexión firme y lo más corta posible al SPT como se muestra en la figura C.2.

Las partes metálicas que se encuentren fuera del volumen a proteger, que no cumpla con la distancia mínima de seguridad o que represente peligro de electrocución para el personal, deben conectarse a los elementos del SEPTE utilizando la trayectoria más corta posible. En los lugares 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 10 m a lo largo de su trayectoria.

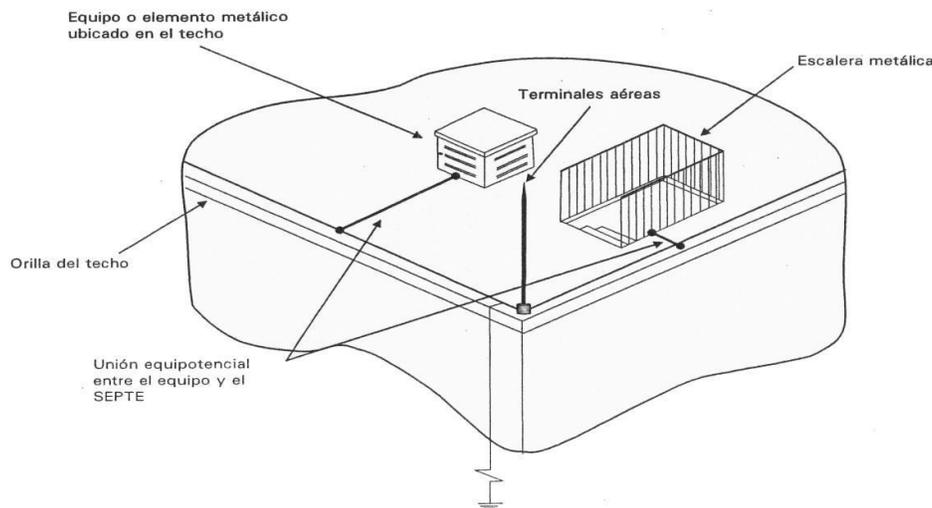


FIGURA.- C.2 Ejemplo ilustrativo de la UE en la parte externa a nivel del techo para un SEPTE no aislado.

Notas:

1. La posición y la altura de las terminales aéreas son representativas del dibujo; no indica parámetros de diseño.
2. El equipo o los elementos metálicos pueden ser, entre otros, aire acondicionado, tanques de gas, jaulas metálicas de servicio, antenas de televisión, satelitales y por cable, barandales, aceros de refuerzo, etc.

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 unión equipotencial.

Si la instalación está hecha de material aislante (madera, tablaroca) y se tiene instalado un SEPTTE, debe comprobarse que se cumpla la distancia indicada en 3.1.2.2.4, entre los conductores de bajada y el material de la instalación, desde el punto requerido hasta el punto de UE a nivel del suelo.

La UE entre los elementos metálicos (sea del SEPTTE 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.

En la figura C.3. se ilustra un arreglo típico para la unión equipotencial a nivel interno. El concepto de unidad equipotencial es radial, en donde las barras de unión deben interconectarse entre sí, sin formar lazos cerrados y conectados firmemente a la barra de unión maestra o principal y está conectada al SPT.

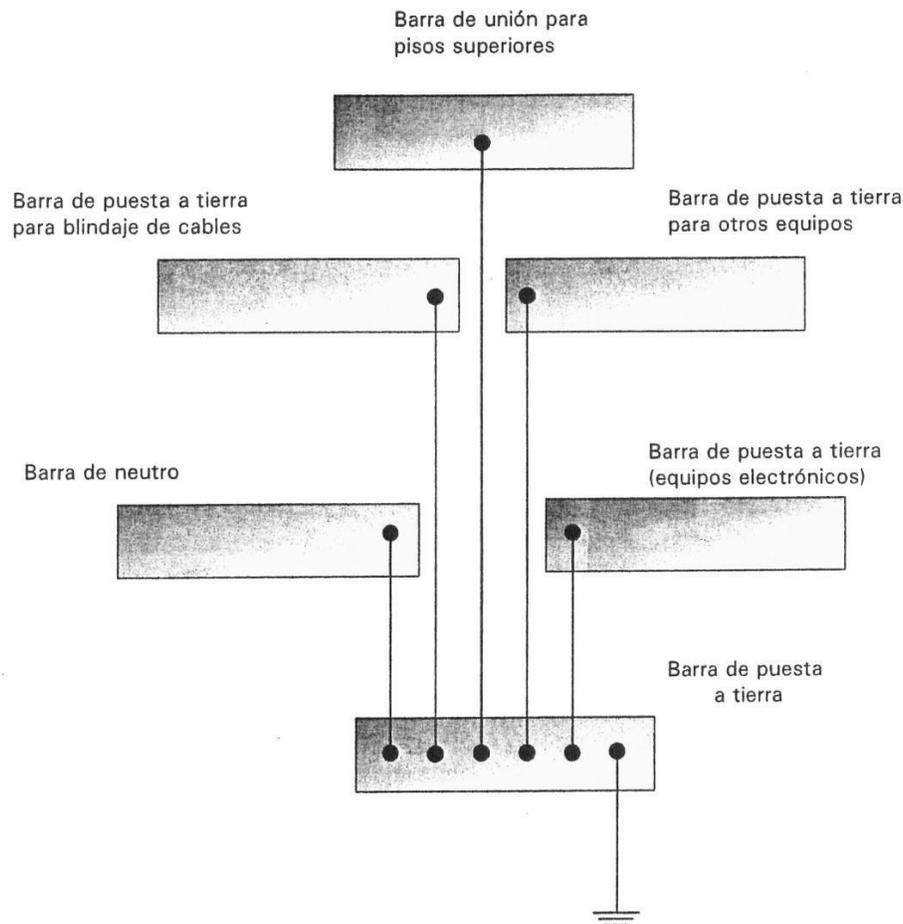


FIGURA.- C.3 Arreglo conceptual de la unión equipotencial a nivel interno.



C2 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:

- » Acero y sus aleaciones.
- » Cobre y sus aleaciones.
- » Aluminio y sus aleaciones.
- » Sintéticos.

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

No deben usarse 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 de una alta conductividad, durabilidad y resistencia 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, exigencia de oxígeno y temperatura, afectan la velocidad de corrosión.

La importancia de seleccionar los materiales adecuados depende del:

- » Lugar donde se instale el SEPTE 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 galvanizado con cobre (conexiones directas), esto por el efecto galvánico.



ANEXO D SALARIOS ESTABLECIDOS POR SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL



Salarios Mínimos



Vigentes a partir del 1º de enero de 2014

| SALARIOS MÍNIMOS | ÁREA GEOGRÁFICA | | O F. N U M. | ÁREA GEOGRÁFICA A |
|--|-----------------|--------|-------------|-------------------|
| | A | B | | |
| Generales: | 67.29 | 63.77 | | |
| Profesionales | | | | |
| 1 Albañilería, oficial de | 98.05 | 92.95 | 1 | |
| 2 Boticas, farmacias y droguerías, dependiente(a) de mostrador en | 85.33 | 80.95 | 2 | |
| 3 Buldózer y/o tracto cavo, operador(a) de | 103.30 | 97.74 | 3 | |
| 4 Cajero(a) de máquina registradora | 86.99 | 82.70 | 4 | |
| 5 Cantinero(a) preparador(a) de bebidas | 89.01 | 84.35 | 5 | |
| 6 Carpintero(a) de obra negra | 98.05 | 92.95 | 6 | |
| 7 Carpintero(a) en fabricación y reparación de muebles, oficial | 96.25 | 91.09 | 7 | |
| 8 Cocinero(a), mayor(a) en restaurantes, fondas y demás establecimientos de preparación y venta de alimentos | 99.48 | 94.20 | 8 | |
| 9 Colchones, oficial en fabricación y reparación de | 90.00 | 85.49 | 9 | |
| 10 Colocador(a) de mosaicos y azulejos, oficial | 95.84 | 90.86 | 10 | |
| 11 Construcción de edificios y casas habitación, yesero(a) en | 90.73 | 86.02 | 11 | |
| 12 Cortador(a) en talleres y fábricas de manufactura de calzado, oficial | 88.06 | 83.62 | 12 | |
| 13 Costurero(a) en confección de ropa en talleres o fábricas | 86.84 | 82.48 | 13 | |
| 14 Costurero(a) en confección de ropa en trabajo a domicilio | 89.43 | 84.71 | 14 | |
| 15 Chofer acomodador(a) de automóviles en estacionamientos | 91.42 | 86.52 | 15 | |
| 16 Chofer de camión de carga en general | 100.35 | 95.20 | 16 | |
| 17 Chofer de camioneta de carga en general | 97.18 | 91.94 | 17 | |
| 18 Chofer operador(a) de vehículos con grúa | 93.01 | 88.26 | 18 | |
| 19 Drega, operador(a) de | 104.37 | 98.83 | 19 | |
| 20 Ebanista en fabricación y reparación de muebles, oficial | 97.82 | 92.61 | 20 | |
| 21 Electricista instalador(a) y reparador(a) de instalaciones eléctricas, oficial | 95.84 | 90.86 | 21 | |
| 22 Electricista en la reparación de automóviles y camiones, oficial | 96.90 | 91.66 | 22 | |
| 23 Electricista reparador(a) de motores y/o generadores en talleres de servicio, oficial | 93.01 | 88.26 | 23 | |
| 24 Empleado(a) de gondola, anaquel o sección en tiendas de autoservicio | 85.05 | 80.23 | 24 | |
| 25 Encargado(a) de bodega y/o almacén | 88.50 | 83.90 | 25 | |
| 26 Ferreterías y dlapalerías, dependiente(a) de mostrador en | 90.50 | 85.66 | 26 | |
| 27 Fogonero(a) de calderas de vapor | 93.74 | 88.69 | 27 | |
| 28 Gasolinero(a), oficial | 86.84 | 82.48 | 28 | |
| 29 Herrería, oficial de | 94.46 | 89.41 | 29 | |
| 30 Hojalatero(a) en la reparación de automóviles y camiones, oficial | 96.25 | 91.09 | 30 | |
| 31 Lubricador(a) de automóviles, camiones y otros vehículos de motor | 87.63 | 82.87 | 31 | |
| 32 Manejador(a) en granja avícola | 83.97 | 79.71 | 32 | |
| 33 Maquinaria agrícola, operador(a) de | 98.61 | 93.62 | 33 | |
| 34 Máquinas para madera en general, oficial operador(a) de | 93.74 | 88.69 | 34 | |
| 35 Mecánico(a) en reparación de automóviles y camiones, oficial | 101.67 | 96.60 | 35 | |
| 36 Montador(a) en talleres y fábricas de calzado, oficial | 88.06 | 83.62 | 36 | |
| 37 Peluquero(a) y cultor(a) de belleza en general | 91.42 | 86.52 | 37 | |
| 38 Pintor(a) de automóviles y camiones, oficial | 94.46 | 89.41 | 38 | |
| 39 Pintor(a) de casas, edificios y construcciones en general, oficial | 93.74 | 88.69 | 39 | |
| 40 Planchador(a) a máquina en tintorerías, lavanderías y establecimientos similares | 86.99 | 82.70 | 40 | |
| 41 Plomero(a) en instalaciones sanitarias, oficial | 93.94 | 89.06 | 41 | |
| 42 Radiotécnico(a) reparador(a) de aparatos eléctricos y electrónicos, oficial | 97.82 | 92.61 | 42 | |
| 43 Recamarero(a) en hoteles, moteles y otros establecimientos de hospedaje | 85.05 | 80.23 | 43 | |
| 44 Refaccionarias de automóviles y camiones, dependiente(a) de mostrador en | 88.50 | 83.90 | 44 | |
| 45 Reparador(a) de aparatos eléctricos para el hogar, oficial | 92.60 | 87.68 | 45 | |
| 46 Reportero(a) en prensa diaria Impresa | 201.58 | 190.77 | 46 | |
| 47 Reportero(a) gráfico(a) en prensa diaria Impresa | 201.58 | 190.77 | 47 | |
| 48 Repostero(a) o pastelero(a) | 98.05 | 92.95 | 48 | |
| 49 Sastrería en trabajo a domicilio, oficial de | 98.61 | 93.62 | 49 | |
| 50 Secretario(a) auxiliar | 101.47 | 96.18 | 50 | |
| 51 Soldador(a) con soplete o con arco eléctrico | 96.90 | 91.66 | 51 | |
| 52 Tablajero(a) y/o carnicer(a) en mostrador | 91.42 | 86.52 | 52 | |
| 53 Tapicero(a) de vestiduras de automóviles, oficial | 93.01 | 88.26 | 53 | |
| 54 Tapicero(a) en reparación de muebles, oficial | 93.01 | 88.26 | 54 | |
| 55 Trabajo social, técnico(a) en | 110.91 | 105.05 | 55 | |
| 56 Vaquero(a) ordeñador(a) a máquina | 85.05 | 80.23 | 56 | |
| 57 Velador(a) | 86.84 | 82.48 | 57 | |
| 58 Vendedor(a) de piso de aparatos de uso doméstico | 89.43 | 84.71 | 58 | |
| 59 Zapatero(a) en talleres de reparación de calzado, oficial | 88.06 | 83.62 | 59 | |

La mujer y el hombre son iguales ante la ley, los salarios mínimos generales y profesionales deberán pagarse en igualdad de circunstancias independientemente del origen étnico o nacional, género, edad, discapacidades, condición social, salud, lengua, religión, opiniones, preferencia sexual y estado civil de las personas.

www.stps.gob.mx
www.conasami.gob.mx

| ÁREA GEOGRÁFICA B | |
|--|-----------------|
| Todos los municipios de los Estados de: | |
| A GUASCALIENTES | NAYARIT |
| CAMPECHE | OAXACA |
| COAHUILA DE ZARAGOZA | PUEBLA |
| COLIMA | QUERÉTARO |
| CHIAS | QUINTANA ROO |
| CHIAS | SAN LUIS POTOSÍ |
| DURANGO | SINALOA |
| GUANAJUATO | TABASCO |
| HIDALGO | TLAXCALA |
| MICHOACÁN DE OCAMPO | YUCATÁN |
| MORELOS | ZACATECAS |
| Más todos los municipios de los Estados de: CHIHUAHUA, GUERRERO, JALISCO, MÉXICO, NUEVO LEÓN, SONORA, TAMAULIPAS y VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE no comprendidos en el área A. | |

ANEXO E FICHA TECNICA DE INTENSIFICADOR DE TIERRA TIPO GEM.

HOJA TECNICA GEO-GEM

GEO-GEM

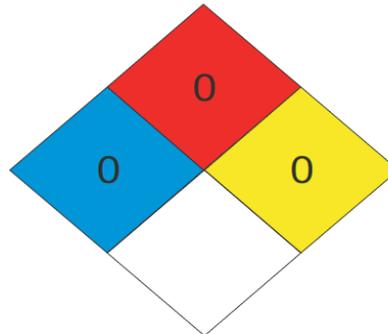
PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

| | |
|---------|-------------------|
| COLOR | PLOMO |
| OLOR | INODORO |
| ASPECTO | HARINOSO |
| SABOR | NO CARACTERÍSTICO |
| TEXTURA | UNTUOSO AL TACTO |
| ESTADO | POLVO FINO |

PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

| | |
|----------------------------|--------------------------------|
| PH | 10 |
| Resistividad en Ohm.m | 0.17 |
| Solubilidad/H2O | Ins ^o /Lig. Soluble |
| Estabilidad/Luz Solar | Estable |
| Estabilidad/Medio Ambiente | Estable |

SÍMBOLO PELIGROSIDAD NFPA



0 : Insignificante / Sin Riesgo para la Salud

| | | |
|-----------------|---------------------------|-----------------------------|
| PROMELSA | CONTROL DE CALIDAD | QUÍMICO OM SAMAME M. |
| | HOJA TECNICA | 09-01-2004 |

DEFINICIÓN

GEO-GEM es un material intensificador para puestas a tierra especialmente diseñado para reducir la resistencia eléctrica de las Puestas a Tierra, formado por 2 componentes, A y B. El componente A es un material de alta conductividad eléctrica y el componente B permite una mayor compactación y adhiere este al electrodo poniéndolo en contacto estrecho lo que se traduce en una menor resistencia eléctrica de dispersión.

PREPARACIÓN

GEO-GEM es un producto preparado por aplicación directa en el terreno.

COMPONENTES

PROPIEDADES

| NOMBRE | Componente A | Componente B |
|---------|-------------------------|------------------------|
| COLOR | NEGRO, PLOMO | VERDOSO |
| OLOR | INODORO | INODORO |
| ASPECTO | BLANDO, HARINOSO | HARINOSO |
| SABOR | NO CARACTERISTICO | NO CARACTERÍSTICO |
| TEXTURA | UNTUOSO AL TACTO | HARINOSA |
| ESTADO | POLVO FINO, COMPACTABLE | POLVO FINO COMPACTABLE |
| PH | 11.0 | 5.0 |

| | |
|-------------------------------|----------------|
| NOMBRE | GEO-GEM |
| PH | 12.3 |
| Resistividad en seco en Ohm/m | 0.17 |

ESTABILIDAD

| | Componente A | Componente B |
|-------------------|--------------|---------------------------------|
| Al medio ambiente | Estable | Estable |
| Al agua | insoluble | Insoluble o ligeramente soluble |
| A la luz solar | Estable | Estable |

INFORMACIÓN TOXICOLOGICA

Componente A

| | EFFECTOS AGUDOS | EFFECTOS CRÓNICOS |
|-----------------------|---|-------------------|
| Contacto con la piel | Manchas de color negro, no permanentes desaparecen al lavado con agua | Sin información |
| Contacto con los ojos | Enrojecimiento | Sin información |
| Inhalación prolongada | Tos, jadeo, impregna de color negro la mucosa nasal | Sin información |
| Ingestión | Colorea la mucosa de negro, resequedad de la boca | Sin información |

Componente B

| | Efectos Agudos |
|-----------------------|-------------------------------|
| Contacto con la piel | Leve irritación pasajera |
| Contacto con los ojos | Enrojecimiento, Conjuntivitis |

PRECAUCIONES PARA SU MANIPULEO Y USO

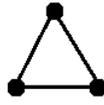
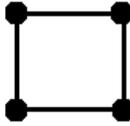
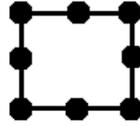
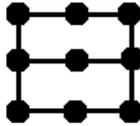
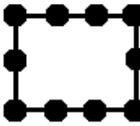
RECOMENDACIONES

- Use un respirador con máscara para partículas y polvos finos para evitar la inhalación de **GEO-GEM**
 - Use guantes para manipular directamente **GEO-GEM**
 - Use lentes de seguridad para manipular directamente **GEO-GEM**
 - No coma, beba o fume mientras el producto **GEO-GEM** esta en uso
 - Use botas y ropa para proteger la piel del contacto prolongado con **GEO-GEM**
- Si **GEO-GEM** es ingerido dar a la persona grandes cantidades de agua inmediatamente. Después de que ha tragado el agua , trate de inducir al vómito a la persona. No induzca el vómito en una persona inconsciente. Consiga atención médica de inmediato.



Notas: La capacidad de reducción de resistencia o el incremento de conductividad en el suelo dependerán de las condiciones geológicas del terreno y medio ambiente.

ANEXO F VALORES ESPERADOS DE REDUCCIÓN PARA LA RESISTENCIA A TIERRA DE LAS SIGUIENTES CONFIGURACIONES DE ELECTRODOS.

| ELECTRODOS MÚLTIPLES (Datos proporcionados por el autor Guillermo López Monroy.) | |
|---|--|
| VALORES ESPERADOS | ARREGLO |
| Dos electrodos en paralelo reducen al 55% la resistencia de uno. |  |
| Tres electrodos en línea recta reducen al 35% la resistencia. |  |
| Tres electrodos en delta reducen al 38% la resistencia. |  |
| Cuatro electrodos en cuadro reducen al 28% la resistencia. |  |
| Ocho electrodos en cuadro reducen al 17% la resistencia. |  |
| Ocho electrodos en círculo reducen al 16% la resistencia. |  |
| Nueve electrodos en cuadro sólido reducen al 16% la resistencia. |  |
| Doce electrodos en cuadro reducen al 12% la resistencia. |  |



E1 CÁLCULO PARA EL ARREGLO DOBLE EN PARALELO

Con la ecuación F-1 se calcula que dos electrodos en paralelo reducen al 55% la resistencia de uno.

$$\frac{\text{Resistencia de dos electrodos en paralelo}}{\text{Resistencia de un electrodo}} = \frac{\frac{\vartheta}{(4)(\pi)(r)}(1+\alpha)}{\frac{\vartheta}{(2)(\pi)(r)}} \quad (\text{F-1})$$

Simplificando la ecuación G-1 para encontrar el resultado de la reducción del arreglo doble en paralelo se obtiene:

$$r = \frac{1 + \alpha}{2}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación para encontrar el resultado de la reducción del arreglo doble en paralelo se obtiene:

$$r = \frac{1 + 0.0041}{2}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{r}{d} = \frac{0.00825}{2} = 0.0041$$

Por lo tanto el resultado de la reducción del arreglo doble en paralelo es:

$$0.5$$

Por lo que el arreglo doble en paralelo reduce el 55% el resultado de la resistencia del terreno.