

**INFORME TÉCNICO
DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRESENTA:

ERICK GONZÁLEZ JONAPÁ

NOMBRE DEL PROYECTO:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS DE UNA GASOLINERA, DE
ACUERDO A LA NOM-022-STPS-2015 DE ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LOS
CENTROS DE TRABAJO.**

ASESORES:

INTERNO: ING. KARLOS VELAZQUEZ MORENO

EXTERNO: ING. JORGE LUIS SUAREZ ZOZAYA

PERIODO DE REALIZACIÓN:

AGOSTO – DICIEMBRE 2018

RESUMEN

En este proyecto se aplicó la norma NOM-022-STPS-2015 y así mismo con la norma NMX-J-549-ANCE-2005 para la protección contra tormentas eléctricas en una estación de servicio (gasolinera) y con ello reducir el riesgo de daños que se presentan por la incidencia de descargas atmosféricas en el área donde se encuentra la estación a proteger, además se llevó a cabo un análisis presupuestal para concluir si es viable el sistema de protección examinado contra tormentas eléctricas.

Para aplicar la norma a la estación de servicio fue necesario saber la ubicación para verificar en qué zona se encuentra, además de sus dimensiones. Con respecto al análisis presupuestal fue necesario desarrollar los cálculos presentados por la norma y proponer el material para la instalación del sistema de protección contra tormentas eléctricas.

Con la ubicación de la estructura a proteger se analiza la densidad de rayos a tierra anual lo cual permite saber si es necesario instalar un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas. En este caso como es una gasolinera es necesario la instalación de un sistema de protección contra tormentas eléctricas. Se procedió a determinar la terminal aérea necesaria para la protección de la estación de servicio. Finalmente se analizaron los resultados de la instalación y el presupuesto de éste.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por brindarme su apoyo incondicional durante mi vida académica, por exhortarme a seguir adelante a pesar de los obstáculos y dificultades, por cuidarme y velar por mí todos los días, por el sacrificio que han dado para que yo lograra terminar mis estudios y para tener una mejor calidad de vida. Pero sobre todo por darme su cariño y enseñarme los valores de familia.

A mis hermanos

Por mostrarme su apoyo moral en los momentos buenos y malos, por su confianza y por alentarme a seguir adelante sea cual sea el obstáculo.

A mis profesores y asesores

Por compartir sus conocimientos y enseñarnos las bases de la carrera.

A la empresa GRUPO LARUSU DE CHIAPAS S.A. DE C.V.

Por permitirme formar parte de su familia de trabajadores y por brindar su apoyo para que este proyecto siguiera su camino.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Estado del arte	2
1.3 Descripción de la empresa.....	3
1.4 Problemas a resolver.....	4
1.5 Justificación.....	5
1.6 Objetivo.....	6
1.7 Metodología.....	6
2. FUNDAMENTO TEORICO.....	8
2.1 Descargas atmosféricas y nivel cerámico.....	8
2.1.1 Sistema Mundial de Localización de Descargas Atmosféricas	10
2.1.2 Descargas atmosféricas en nuestro país.....	11
2.1.3 Efectos directos e indirectos sobre los seres humanos e instalaciones.....	14
2.2 La formación de descargas atmosféricas	15
2.2.1 Valores de una descarga atmosférica.....	15
2.2.2 Valores más probables de corriente máxima y de pendiente máxima.....	17
2.3 Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPDA)	18
2.3.1 Sistemas de Protección Contra Tormentas Eléctricas (SPTE)	19
2.4 Tipo de pararrayos	28
2.4.1 Métodos de ubicación de los captadores de rayo	30
2.4.2 Instalación de Pararrayos.....	36
2.5 Conductores de bajada.....	38
2.5.1 Parámetros a considerar en el diseño.....	40
2.5.2 Distancia de seguridad.....	43
2.6 Sistema de Puesta a Tierra (SPT)	45
2.6.1 Toma de tierra.....	46
2.6.2 Terminales de tierra	48
2.7 Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas (SIPTE).....	51
2.7.1 Unión equipotencial.....	51
2.7.2 Red interna de puesta a tierra	52
3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO A PROTEGER.	53
3.1 Valoración de riesgo.....	54
3.2 Calculo del radio de protección	56
3.2.1 Selección del pararrayos.....	59
3.2.2 Selección de los conductores de bajada.....	60

3.3 Arreglo del sistema de puesta a Tierra	61
3.4 Análisis del SIPTE con respecto a la unión equipotencial	62
3.5 Acciones para conservación del pararrayos.....	63
4. RESULTADOS	65
5. CONCLUSIONES.....	68
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
ANEXO A	70
ANEXO B	71
ANEXO C	72

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el mundo, diariamente y en cada instante, se producen unas 44.000 tormentas que generan más de 8.000.000 de rayos, según el sistema de detección mundial de meteorología. El rayo es la reacción eléctrica causada por la saturación de cargas electrostáticas que han sido generadas por la acumulación progresiva del campo eléctrico entre tierra y nube durante la activación de una tormenta típica.

Durante unas fracciones de segundos, la energía electrostática acumulada se convierte, durante la descarga del rayo, en energía electromagnética (el relámpago visible y la interferencia de ruido), energía acústica (trueno) y, finalmente, calor.

La intensidad de la descarga del rayo es variable y dependerá del momento crítico de la ruptura de la resistencia del aire entre los dos puntos de transferencia; estará influenciado por la resistencia de los materiales expuestos en serie, como por ejemplo: tierra, roca, madera, hierro, instalaciones de pararrayos, tomas de tierra, etc.

El propósito de la protección contra descargas atmosféricas es evitar los daños que puede producir el impacto de un rayo local o remoto a personas, estructuras, valores y a la continuidad de servicios. Esto se logra mediante dispositivos y sistemas que conduzcan a tierra la corriente del rayo directo en forma controlada y limiten a niveles seguros los efectos indirectos de la descarga.

La primera fase de la acción de protección contra el rayo directo la constituye el impacto al elemento del sistema de protección destinado a recibirlo o captarlo, elemento que llamamos comúnmente pararrayos. Prácticamente desde el momento en que Benjamín Franklin propone su sistema de captor de descarga, conductor de bajada y puesta a tierra.

Básicamente el sistema que ha probado su efectividad durante más de 250 años y que seguimos usando quedaron planteados dos temas. Uno de ellos fue la determinación (y la ampliación) del área que un elemento captor de rayos era capaz de proteger interceptando las descargas que de otro modo impactarían en la misma y el otro implicaba la posibilidad de impedir directamente la formación del rayo.

Es así que sobre todo en las cuatro últimas décadas se han estado comercializando dispositivos que mediante diversos métodos pretenden o bien aumentar significativamente el área de captación de descargas con respecto al pararrayos convencional o bien evitar la formación del rayo sobre la instalación a proteger. El propósito de este proyecto es presentar el diseño pretendido de estas propuestas y analizar su validez de una estación de servicio.

1.2 Estado del Arte

[1] CÉSAR BRIOZZO Y MARÍA SIMÓN en su trabajo “PARARRAYOS NO CONVENCIONALES”. “presenta en primer lugar el fundamento de la protección convencional. Luego se estudian los sistemas llamados disipaditos o de transferencia de carga (CTS), con los que se dice impedir la formación del rayo sobre la estructura a proteger modificando las condiciones eléctricas de la atmósfera”.

[2] BORIS ALBA VALLE Y ÁREA ORESTES HERNÁNDEZ en su trabajo “DESEMPEÑO DE MODELOS DE PARARRAYOS DE ÓXIDO METÁLICO FRENTE A IMPULSOS DE CORRIENTE”. “En este trabajo se realizó la evaluación del desempeño de los modelos de Karbalaye y Valsalal frente a diferentes impulsos de corriente. Como resultado se identificó como la forma de onda de tensión residual, los valores de energía absorbida y la razón de inclinación inicial de tensión, se desvían de los resultados obtenidos experimentalmente para estos modelos”.

[3] FRANCISCO ROMAN CAMPOS en su trabajo “CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE IMPULSOS DE CORRIENTE PARA ENSAYO DE PARARRAYOS Y DEL SISTEMA ASOCIADO DE MEDIDA”. “El presente artículo describe el cálculo, diseño y construcción de un generador de impulsos de corriente de 5.000 Amperios, el primero de su tipo que se construye en el país, par. Ensayar resistencias no-lineales de carburo de silicio utilizadas en pararrayos de fabricación”.

[4] BLAS HERMOSO ALAMEDA Y HORACIO TORRES SÁNCHEZ en su trabajo “PARARRAYOS ESE Y PUNTAS FRANKLIN, CON ESPÍRITU DE ACLARACIÓN”. “La protección contra estructuras contra el rayo se realiza mediante los sistemas de protección externa y los de protección interna, previa la valoración del riesgo a que pueden estar sometidas. En los métodos empleados para la protección interna (equipotencialización, distancias de seguridad, apantallamientos, empleo de descargadores)”.

En este proyecto se aplicó la NOM-022-STPS-2015 para la protección contra tormentas eléctricas en una estación de servicio y con ello reducir el riesgo de daño a equipos que se presentan por la incidencia de descargas atmosféricas en el área donde se encuentra a proteger, además se llevó a cabo el análisis para concluir si es viable el sistema de protección examinado contra tormentas eléctricas.

1.3 Descripción de la empresa



Grupo LARUSU es una empresa respetable y de compromiso con sus clientes, dando el mejor servicio en consultoría, capacitación y servicios de ingeniería. Así mismo implementando competencias para el crecimiento de la empresa, teniendo así una visión y misión.

Visión.

Consolidarnos como una empresa líder en el mercado de los servicios empresariales, la capacitación, el mantenimiento y la construcción, manteniéndolos a la vanguardia en calidad, costos y entrega.

Misión.

Contribuir con nuestra comunidad para lograr el bienestar económico y social de nuestros clientes, de nuestros trabajadores y sus familias, mediante el cumplimiento de los requerimientos de calidad y atención ofrecidos siempre enfocados hacia un beneficio mutuo.

Puesto o área de trabajo al estudiante:

Residente de la empresa LARUSU DE CHIAPAS, desarrollando un proyecto de diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas en una estación de servicio (gasolinera) dentro del estado. Aprendiendo, apoyando y trabajando en los servicios que brinda la empresa a sus clientes, como capacitaciones y estudios de medición de iluminación y puesta a tierra en base a las normas oficiales. Al igual brindándonos con unas capacitaciones de las normas oficiales mexicanas (NOM).

1.4 Problemas a resolver

El motivo principal por el cual se elabora este proyecto, es proporcionar a estudiantes de eléctrica o de cualquier índole, información relativa a la protección contra las descargas atmosféricas con el uso de pararrayos y sistemas de puesta a tierra.

En este proyecto se utilizara una metodología sencilla y práctica para saber un poco de teoría sobre la selección de pararrayos y sistemas de puesta a tierra. Esperando que la información le sirva al lector, como una consulta en los proyectos en donde se involucren la protección de sistema eléctrico, contra descargas atmosféricas.

1.5 Justificación

¿Por qué es importante un sistema de pararrayos?

Una descripción simple puede clasificar un rayo como un corto circuito entre una nube y la tierra, un fenómeno de la naturaleza imprevisible y aleatoria que ocurre cuando la energía acumulada en una nube alcanza un valor crítico y rompe la rigidez dieléctrica del aire.

Fenómenos naturales que pueden ocasionar muertes, causar incendios, apagones y dañar aparatos electrónicos, las descargas atmosféricas siempre serán un trastorno para la población. Los grandes centros urbanos son las principales áreas afectadas, ya que estudios indican que la polución atmosférica y las islas de calor contribuyen a la ocurrencia de rayos.

Estos eventos son estudiados desde hace mucho tiempo y las medidas de prevención están en un estado bien avanzado. La instalación de un pararrayos, técnicamente llamado Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPDA), es el medio más adecuado de proteger una edificación y las personas que estén en su interior.

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas (SPDA), popularmente conocidos como pararrayos, son equipos fundamentales para la seguridad estructural de las edificaciones, actuando también indirectamente en la protección de las personas.

Este tipo de protección está reglamentada por normas técnicas que, entre otros puntos, se preocupa de la calidad de los materiales empleados en una instalación. Asimismo, las normas prohíben metales ferrosos galvanizados electrolíticamente.

¿En qué consiste un sistema de pararrayos?

Un sistema de pararrayos es un sistema de protección contra tormentas eléctricas (rayos), ya que todos los inmuebles y sus contenidos están expuestas a estas y no podemos evitarlas, pero si podemos colocar un sistema para protegernos de ellas, este sistema está formado por:

- Punta o puntas captadoras
- Bajantes
- Sistema de puesta a tierra

➤ Tecnologías de pararrayos

¿Cómo funciona un pararrayos?

Para entender el funcionamiento de un pararrayos, hay que entender de forma simple como se mueve la electricidad. Cuando hay un potencial eléctrico (en este caso generado por la fricción de las nubes), este busca el camino más corto y fácil, es decir el más conductor (el metal es conductor, el aire no), para realizar su descarga.

Es por eso que un pararrayos consiste en un mástil metálico y una cabeza o punta captadora. La electricidad busca descargar en el mástil. Este está unido a un cable con toma a tierra, el cual conducirá la corriente eléctrica del rayo atraído por el cabezal hacia la tierra.

¿Cómo sé qué mi inmueble necesita un sistema de pararrayos?

Existe un cálculo (estudio y valoración de riesgo) para la determinación de si un inmueble requiere o no un sistema de pararrayos (NMX-J549-ANCE), en el cual se deben contemplar variables como:

- Contenido del inmueble (afluencia de personas, equipo eléctrico-electrónico de costo elevado, materiales flaméales, etc.)
- Ubicación geográfica del inmueble
- Número de incidencias o rayos por km cuadrado. (Mapa Isoceráunico)
- Altura del inmueble

Ventajas de contar con un sistema de pararrayos.

Debido a que no se puede evitar ni controlar este fenómeno (descargas atmosféricas), pero si podemos protegernos de ellas, tanto las personas como los inmuebles y sus contenidos, a través de un sistema de pararrayos bien diseñado y calculado, lo que nos dará como beneficios:

- Protección a las personas
- Protección a los equipos eléctricos y electrónicos (equipos de alto costo, y de funcionamiento indispensable)
- Protección en general al inmueble (construcción, estructuras), evitando riesgos por incendio o bien por impacto de la energía electrodinámica que se desprende al caer un rayo.
- Proporcionar la trayectoria más corta y directa para disipar la corriente del rayo, y así evitar todo daño posible

El sistema de pararrayos adecuado.

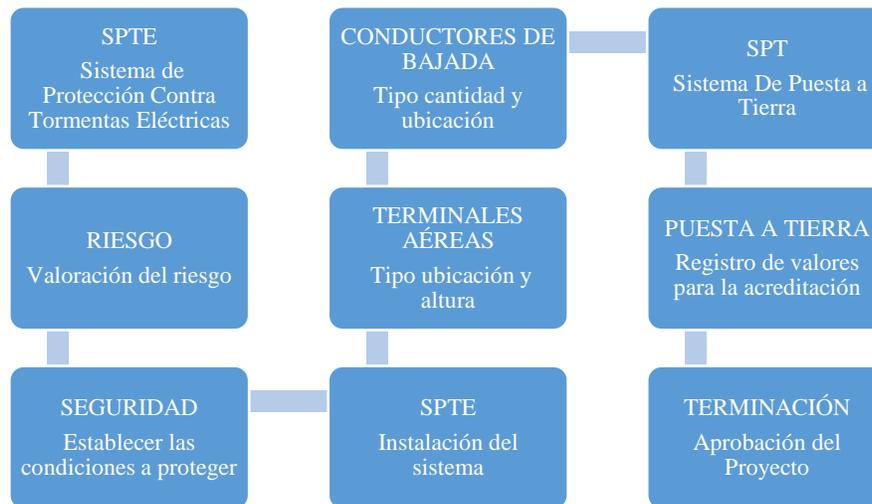
Dependiendo del inmueble, es prioritario el hecho de proteger y salvaguardar las vidas humanas, por lo que se recomienda contar con un sistema de protección contra tormentas eléctricas (rayos) que cumpla con los requerimientos de cálculo y diseño en base a la normatividad aplicable.

Es importante por lo tanto considerar que solo existen dos tecnologías con sustento científico y certificación, teniendo cada una sus ventajas y desventajas, para lo cual deberá seleccionarse la más apropiada dependiendo de un estudio y valoración de riesgo del inmueble a proteger.

1.6 Objetivo

Diseñar un sistema de pararrayos para una estación de servicio, para dar cumplimiento a lo establecido en la NOM-022-STPS-2015 de Electricidad Estática en los Centros de Trabajo. Para la corrección y prevención de posibles problemas en la salud e incidentes que puedan generar incapacidades o fatalidades en los trabajadores.

1.7 Metodología



Para el diseño, instalación y la evaluación del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en las áreas de Trabajo se tomó como referencia la metodología indicada en la “NOM-022-STPS-2015”, Electricidad estática en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad y la “NMX-J-549-ANCE” llevando a cabo los siguientes factores:

- a) Establecer las condiciones de seguridad para controlar la generación y/o acumulación de las cargas eléctricas estáticas en las áreas del centro de trabajo, conforme a lo que prevé el Capítulo 7 de esta Norma.
- b) Instalar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas en las áreas o instalaciones de los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten

sustancias inflamables o explosivas, de acuerdo con lo determinado en el Capítulo 8 de la presente Norma.

- c) Medir la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra, de conformidad con lo que señala el Capítulo 9 de esta Norma, comprobar la continuidad en los puntos de conexión a tierra, y en su caso, medir la humedad relativa cuando ésta sea una medida para controlar la generación y acumulación de cargas eléctricas estáticas, con base en lo dispuesto por el numeral 7.3 de la presente Norma.
- d) Registrar los valores de la resistencia de la red de puesta a tierra, la comprobación de la continuidad eléctrica y, en su caso, de la humedad relativa, de acuerdo con lo previsto por los numerales 9.5 y 7.3, inciso a), respectivamente, de la presente Norma.
- e) Capacitar y adiestrar a los trabajadores sobre las técnicas para descargar o evitar la generación y acumulación de electricidad estática, conforme a lo que establece el Capítulo 10 de esta Norma.

Al seleccionar un sistema externo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, ya sea con terminales aéreas convencionales o terminales aéreas de tecnologías alternativas, se deberán considerar, al menos, lo siguiente:

- El arreglo general del centro de trabajo (planta, cortes y elevaciones).
- Ente de rayo en los conductores de bajada y en los elementos de la red transporten en el centro de trabajo, en cuanto a su inflamabilidad o explosividad y la tendencia a generar y acumular cargas eléctricas estáticas, por sus características fisicoquímicas y la de los contenedores y/o tuberías, así como la naturaleza de los procesos a que están sujetas, y las condiciones presentes en el ambiente.
- La densidad del rayo a tierra de la región, y
- La zona de protección del sistema.

El centro de trabajo deberá de contar con un estudio que demuestre que el área de cobertura del sistema externo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas comprende el edificio, local o zona de riesgo en las que se manejan las sustancias inflamables o explosivas y contener al menos, lo siguiente:

- Tipo y características de sistema instalado.
- Altura de las terminales aéreas que sobresalen de cualquiera de las estructuras circundantes.
- Ubicación del sistema.
- Área de cobertura de protección con la metodología utilizada para su cálculo.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 Descargas atmosféricas y nivel cerámico.

Descargas atmosféricas.

Una descarga atmosférica o rayo es considerada como el paso de una corriente eléctrica entre dos puntos, producido por una diferencia de potencial entre estos mediante un camino, de tipo sólido, líquido o gaseoso. El objetivo de una descarga es equilibrar la diferencia de potencial.

De igual similitud ocurre en la naturaleza para compensar la desigualdad de potenciales, donde se produce un campo eléctrico entre dos puntos de una nube, entre dos nubes diferentes o una nube y la tierra.

La descarga se forma en nubes de tormenta del tipo cumulonimbos, figura 1. Estas se caracterizan por estar formadas por columnas de aire caliente que ascienden por convección, cuando la atmósfera se hace inestable, debido a grandes gradientes de temperatura. El interior de esas nubes, es recorrido por rápidas corrientes de aires ascendentes y descendentes de velocidades hasta de 300 km/h.

Existen varias teorías que involucran al campo eléctrico terrestre en la generación de descargas eléctricas, sin embargo en este proyecto hace hincapié a las generadas o relacionadas con la precipitación y convección de partículas dentro de la nube.

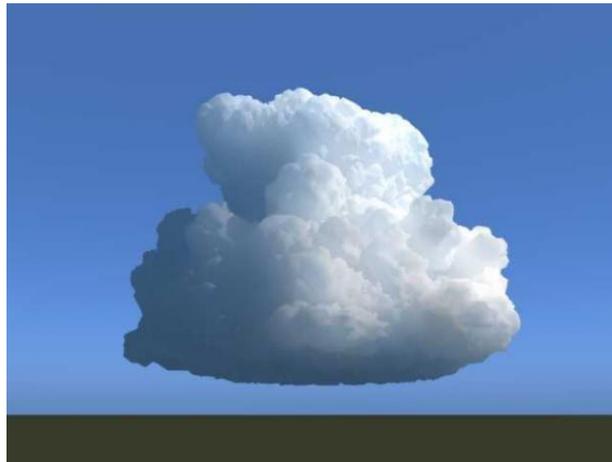


Figura 2.1.- Nube del tipo Cumulonimbos.

Hay que indicar que todas las nubes están predisuestas para la generación de descargas atmosféricas ya que en la naturaleza por lo general las cargas están distribuidas uniformemente en un cielo sin tormenta, siendo la carga neutra.

En la figura 2, se muestra cómo se desarrolla una descarga atmosférica, con el objetivo de equilibrar las cargas y como se dijo anteriormente, se pueden originar entre nubes, en la misma nube o entre nube y tierra.

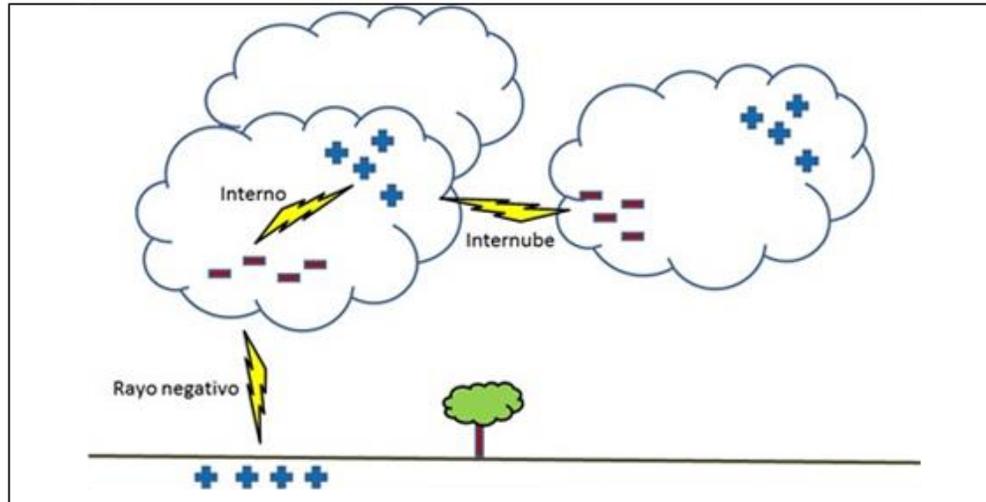


Figura 2.2.- Desarrollo de una descarga eléctrica.

Nivel Cerámico.

En la mayor parte de las regiones del mundo se puede obtener información de la actividad de las descargas atmosféricas a través de los datos cerámicos.

Por lo tanto el nivel cerámico se puede definir como el número de días al año en los que cae al menos un rayo.

El nivel cerámico es una indicación de la actividad regional de las descargas atmosféricas basada en cantidades promedio derivadas de los niveles de observación históricamente disponibles.

Datos más puntuales sobre el nivel isocerámico de diferentes lugares se puede encontrar en los mapas de regiones. En la figura 2.3, se muestra el mapa isocerámico del mundo y se puede tener una idea más clara sobre la actividad de las descargas atmosféricas a nivel mundial.

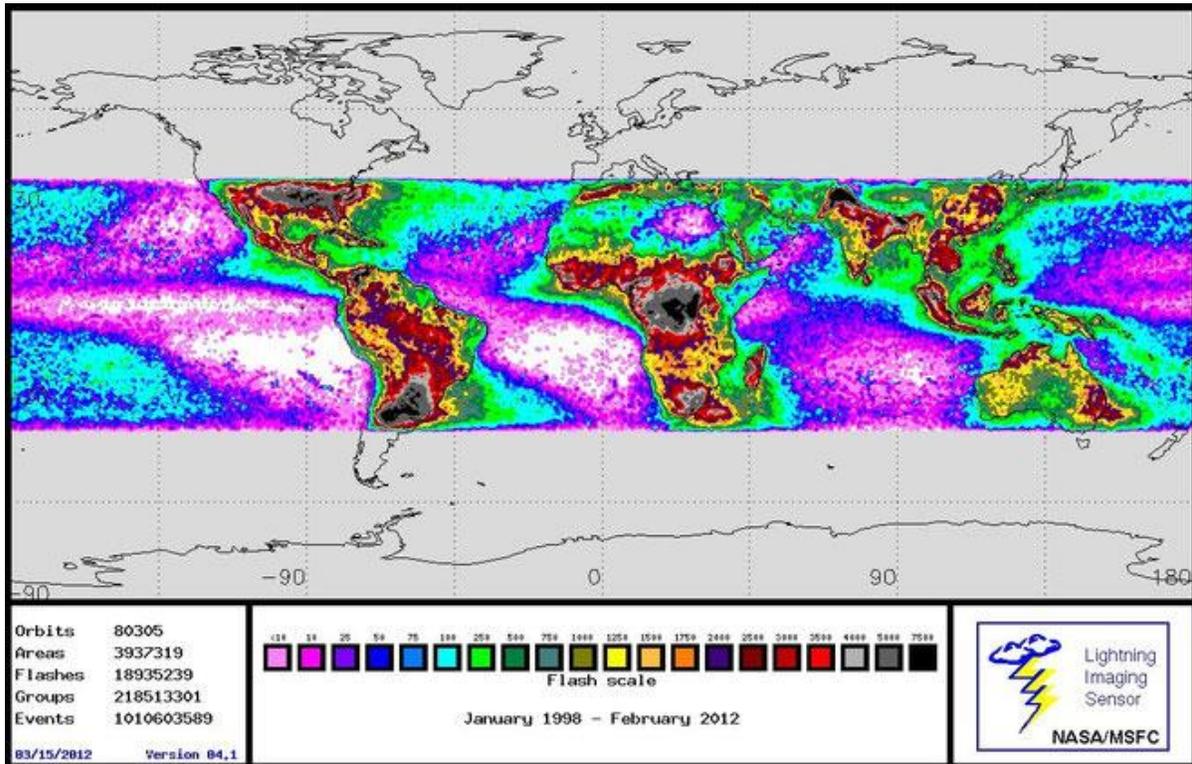


Figura 2.3.- Mapa isoceráunico del mundo.

2.1.1 Sistema Mundial de Localización de Descargas Atmosféricas.

El sistema mundial de detección de descargas atmosféricas o conocido por sus siglas en inglés como WWLLN (World Wide Lightning Location Network), es una instancia a nivel mundial encargada del monitoreo en tiempo real de la actividad ceráunica mediante la ubicación de sensores a nivel global y a una determinada distancia.

La mencionada organización tiene como sede la Universidad de Washington en Estados Unidos de América. En la figura 2.1.1, se presenta la visualización del nivel ceráunico en el Continente Americano.

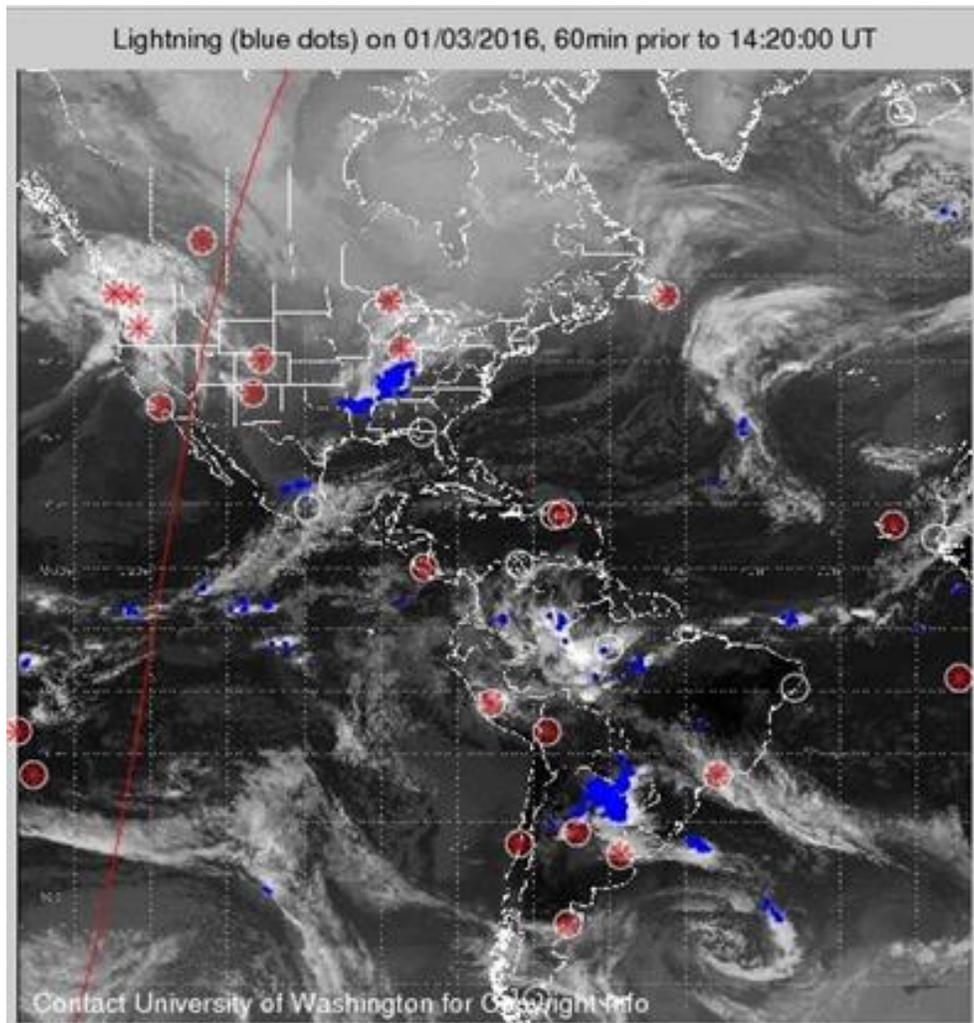


Figura 2.1.1.- Visualización de la actividad cerámica en el continente Americano.

En la figura 2.1.1, se puede distinguir la actividad cerámica que acontece en el continente americano, distinguiéndose con fragmentos de color azul y los mismos pueden variar su color dependiendo de la intensidad de la actividad que se presente en un determinado momento. Los puntos de color rojo representan la ubicación de los sensores del sistema internacional de monitoreo en el continente.

2.1.2 Descargas atmosféricas en nuestro país.

En nuestro planeta cada continente, país y región del mismo, tiene condiciones muy distintas entre sí. Ya sea por los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, por su ubicación en los hemisferios, por la cercanía a los polos o el ecuador, topografía, hidrografía, entre otros tantos aspectos.

En México, hablar de la Geografía y su íntima relación con el clima que posee el país, es tratar uno de los temas más extensos y enriquecedores para la nación. Son precisamente estas asignaturas, elementos relevantes para la manifestación de rayos.

Los aspectos que forman nuestra geografía y clima, pueden ser los tipos de suelo, latitud, altitud respecto a nivel del mar, la densidad de lluvias, sistemas montañosos, la zona o región, atmósfera terrestre, temperatura, humedad, presión, vientos, precipitaciones, estaciones del año, entre otros. La interacción de estos y otros factores, proveerán condiciones para presentarse en mayor o menor medida la actividad de descarga.

El nivel cerámico (N_k ó T_d), sea quizá el parámetro más importante de la investigación sobre los rayos (Figura 2.3), como se ha comentado gran parte de estos estudios se basa en la estadística de su manifestación. El también mencionado índice cerámico, se trata de la cantidad de días tormentosos por año en un determinado punto geográfico. Los días tormentosos serán aquellos en que se escuchen truenos en dicho punto; y se registra como un solo dato, independientemente de la cantidad de truenos percibidos ese día. En el caso de observar relámpagos pero no truenos, no se registran como días tormentosos.

Cuando la estadística o información es llevada a un Mapa Regional o Nacional, se unen con líneas los puntos con igual índice cerámico para generar un Mapa Isocerámico, figura 2.1.2.

En nuestro país, los mapas isocerámicos han dejado de actualizarse, una de las últimas referencias más completas se encuentran entre los años 1983 y 1993, del Instituto de Investigaciones Eléctricas, donde se refleja que la actividad es variable en el transcurso del tiempo, a comparación de mapas como el de 1986 y 1991.



Figura 2.1.2.- Representación del nivel cerámico de nuestro país.

Los datos en cada mapa por muy actual que este sea, no son precisos al 100%, ya que la densidad de descargas a tierra puede variar considerablemente de un año para otro. Para aumentar su fiabilidad, se debe tener en cuenta dicha variación de la densidad de descargas a tierra, con valores entre 0 y 20. Así mismo para la elaboración del mapa se debe tomar el promedio de al menos 5 años consecutivos.

México promedia 50,000 tormentas eléctricas anuales y se estima el índice ceráunico entre 30 y 50 días por año, considerado valores medios por todas las variaciones del transcurso del tiempo, así como aspectos locales, como son topografía, minerales del suelo, humedad, etc.

Así, cada región del mundo es muy distinta una a la otra y difieren en índice ceráunico, mapas isoceráunicos y densidad de descargas a tierra. Por eso los investigadores alrededor del globo, han propuesto relaciones empíricas sobre la interacción de densidad de descargas a tierra y el número de días tormentosos al año para una región determinada (Tabla 1).

Relación propuesta	Referencia	Región
$0.04 \times (T_d)^{1.25}$	Anderson/Eriksson	CIGRE
$0.053 \times (T_d)^{1.17}$	Eriksson/Potgieter	Sudáfrica
$0.026 \times (T_d)^{1.9}$	Stringfellow	Reino Unido
$0.004 \times (T_d)^2$	Muller/Hillebrand	Suecia
$0.15 \times T_d$	Brown/Whitehead/Golde	Estados Unidos
$0.023 \times (T_d)^{1.3}$	CIGRE	-
$0.036 \times (T_d)^{1.3}$	Kolokolov/Paviova	Rusia
$0.1 \times T_d$	Aiya	India
$0.15 \times T_d$	-	Nueva Guinea
$0.17 \times T_d$	Horn/Ramsey	Estados Unidos (Sur)
$0.11 \times T_d$	Horn/Ramsey	Estados Unidos (Norte)
$0.024 \times (T_d)^{1.12}$	De La Rosa	México
$0.03 \times (T_d)^{1.12}$	-	Brasil
$0.0017 \times (T_d)^{1.56}$	Torres	Colombia
$0.19 \times T_d$	Brooks	Mundial Templado
$0.15 \times T_d$	Golde	Mundial Templado
$0.13 \times T_d$	Brooks	Mundial Tropical

Tabla 1.- Relación de densidad de rayos a tierra a función del nivel cerámico (T_d).

Es importante mencionar que por razones de confiabilidad y seguridad, es recomendable que las magnitudes y parámetros del rayo obtenidos en Zonas Templadas, no sean aplicadas directamente en Zonas Tropicales, en su lugar tomas referencias locales.

Cuando no se cuenta con un mapa de densidad de descargas a tierra (N_g), este se puede estimar de las siguientes maneras.

- Para Zona Templada, se utilizan la relación del nivel cerámico:

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \text{ [número de rayos/km}^2\text{-año] (IEEE)}$$

$$N_g = 0.1 \times T_d \text{ [número de rayos/km}^2\text{-año] (IEC)}$$

- Para Zona Tropical, se utiliza los resultados encontrados en regiones montañosas:

$$N_g = 0.024 \times T_d^{1.12} \text{ [número de rayos/km}^2\text{-año] México}$$

$$N_g = 0.03 \times T_d^{1.12} \text{ [número de rayos/km}^2\text{-año] Brasil}$$

$$N_g = 0.0017 \times T_d^{1.56} \text{ [número de rayos/km}^2\text{-año] Colombia}$$

Donde T_d es el nivel cerámico, número de días de tormenta por año.

Hoy en día es muy sencillo tener acceso a la información del clima y la atmósfera, como datos, estadísticas, estudios, investigaciones, etc. Mediante la red se puede contar con información del momento y de primera mano de casi cualquier país y punto en el planeta.

La Organización Meteorológica Mundial, es un organismo de las Naciones Unidas, es el portavoz autorizado acerca del estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con los océanos, el clima que produce y la distribución resultante de los recursos hídricos.

En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), es el encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país.

En cada nación, pueden existir diversos organismos, instituciones y redes de información meteorológicas, que comparten datos, infraestructura, y ofrecen un panorama global o local de algún fenómeno atmosférico para el conocimiento, uso y prevención del ser humano.

2.1.3 Efectos directos e indirectos sobre los seres humanos e instalaciones.

Efectos directos.

Los efectos directos sobre personas son peligrosos debido a las magnitudes de sus parámetros, ya que puede resultar la muerte por efectos térmicos y eléctricos instantáneos. Para las instalaciones trae como consecuencia la destrucción total de los equipos debido a su gran potencial, excesiva corriente, y posibles incendios, especialmente si en la estructura se encuentran materiales combustibles.

Efectos indirectos.

Los efectos son fuertes tensiones de paso en la superficie de la tierra, y debido a que el cuerpo humano es sensible a toda actividad electromagnética, este se ve afectado. Durante el impacto se producen efectos físicos, térmicos, acústicos, electroquímicos y pulsos electromagnéticos que varían de acuerdo a la intensidad de la descarga y se propaga radialmente hasta 1500 metros desde el punto de impacto.

Entre los efectos físicos provocados en personas tenemos paro cardiaco, paro respiratorio, lesiones cerebrales, quemaduras en la piel, fibrilación ventricular, etc. Los efectos indirectos por impactos cercanos a la instalación también repercuten en el averío de elementos electrónicos hasta provocar incendios. Entre los efectos indirectos que pueden provocar las descargas atmosféricas tenemos pulsos electrostáticos y sobretensiones transitorias.

2.2 La formación de descargas atmosféricas.

Los rayos consisten usualmente de descargas múltiples, con intervalos entre descargas de decenas a centenas de milisegundos. La primera descarga es la que tiene mayor amplitud, mientras que las subsecuentes tienen tiempos de aparición más rápidos, y su velocidad de éstas depende del lugar geográfico. La primera descarga está entre 6×10^7 m/s y 15×10^7 m/s y la segunda entre 11×10^7 m/s y 13×10^7 m/s.

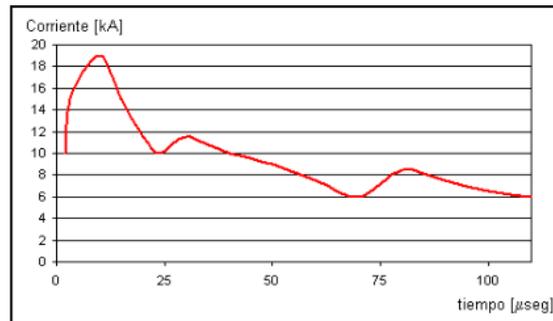
El campo eléctrico debajo de una nube de tormenta es generalmente considerado entre 10 kV/m y 30 kV/m. Una nube de tormenta promedio podría contener unos 140 MW de energía con tensiones hasta de 100 MV, con una carga en movimiento intra-nube de unos 40 °C. Esta energía es la que se disipa mediante los rayos, con corrientes pico que van de unos cuantos kiloamperes a unos 200 kA. Los rayos de una nube positiva hacia tierra contienen más carga que sus contrapartes negativas, por lo que son muy estudiados.

Existen algunas teorías sobre la formación de las descargas atmosféricas y experimentos para estudiar sus efectos, como la Teoría de Simpson, Teoría de Elster y Geitel, Teoría de Wilson, y la Teoría de los cristales de hielo.

2.2.1 Valores de una descarga atmosférica.

Los valores que se pueden llegar a obtener de una descarga se pueden observar en la figura 2.2.1, donde se muestra la representación de la corriente en función del tiempo en gráficas y tablas.

t [μseg]	I [kA]
2	10
3	15
10	19
15	15
20	11,5
24	10
30	11,5
40	10
50	9
60	7,5
70	6
80	8,5
90	7,5
100	6,5
110	6



t [μseg]	I [kA]
0	19
80	8,5
100	6,5
110	6
200	6
400	5,5
600	5
800	3
1000	2,8
1200	2,1
1400	1,5
1600	2
1800	1,5
2000	1
2200	0,5

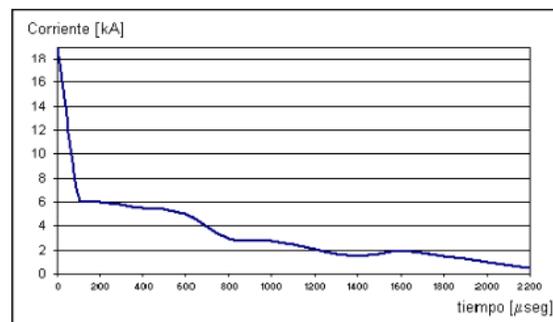


Figura 2.2.1.- Primer impulso de una descarga atmosférica (rayo).

Los valores que se pueden observar en la gráfica son:

- $I_{MÁX} = 19 \text{ kA}$
- Tiempo para llegar a $I_{MÁX}$, $t_1 \approx 10 \text{ μs}$
- Pendiente máxima (primer frente) $\Delta I/\Delta t = 14 \text{ kA}/2,5 \text{ μs} = 5,6 \text{ kA}/\text{μs}$
- Tiempo de caída al 50% de $I_{MÁX}$, $t_2 \approx 54 \text{ μs}$
- Tiempo hasta que la corriente llega al valor aproximado de 200 a $t_3 \approx 2,2 \text{ ms}$
- Carga eléctrica transportada en t_1 , $Q_{S1} = \int I \, dt \approx 7 \text{ C}$
- Energía específica (entre 0 y 1300 s), $W/R = \int I_2 \, dt \approx 41.500 \text{ W}/\Omega$

Es bastante frecuente que el impulso no sea único sino que aparezcan varios impulsos posteriores, de menor valor máximo, llamados arcos subsiguientes. Pueden llegar a contabilizarse, con poca probabilidad de que ocurran, hasta diez impulsos en un solo rayo. Un valor de probabilidad media puede ser de cinco impulsos por descarga. La carga total transportada, entre todos los impulsos, puede estar en el orden de unos 20 ó 25 coulomb.

2.2.2 Valores más probables de corriente máxima y de pendiente máxima.

Dada la gran variabilidad de cada uno de los parámetros eléctricos de una descarga, se recurre a representaciones que indican el % de probabilidad que tal valor sea superado en función de una escala de valores.

Tomamos como ejemplo los valores que propone la CIGRE (Conferencia Internacional de Grandes Redes Eléctricas), y el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), para dos magnitudes muy significativas en la caída de una descarga.

a) El valor máximo de la corriente I_{CRESTA} [kA]

I [kA]	3	4	5	10	30	40	50	100	200
Probabilidad [%]	99	98	96	85	40	30	20	6	1

Tabla 2.- Ley de repartición de la corriente de cresta (CIGRE).

b) La variación máxima de la corriente en el tiempo $\Delta I/\Delta t$, [kA/ μ s]

$(\Delta I/\Delta t)_{max}$	10	20	50	80	100	200	300
Probabilidad	98	78	40	20	12	3	< 1

Tabla 3.- Ley de repartición de la pendiente máxima de la corriente (Anderson y Erikson).

c) El valor máximo de la corriente I_k [kA]

I_k [kA]	2	7	10	11	20	24	50	100
Probabilidad [%]	99,8	90	74	70	40	20	7	1

Tabla 4.- Ley de repartición de la corriente de cresta (IEEE).

d) La variación máxima de la corriente en el tiempo $\Delta I/\Delta t$, [kA/ μ s]

$(\Delta I/\Delta t)_{\max}$ [kA/ μ s]	2	5	10	20	50	100
Probabilidad [%]	99,7	96	82	58	20	5

Tabla 5.- Ley de repartición de la pendiente máxima de la corriente (IEEE).

2.3 Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas (SPDA).

Los Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas son dispositivos que desvían el rayo a tierra. Un protector contra sobretensión incorporado al medidor, crea una vía para conducir el exceso de tensión a tierra, y permite que ingrese a la vivienda la tensión de nivel seguro.

Las descargas atmosféricas no pueden ser detenidas, por tal motivo la energía debe de ser desviada de manera segura, ya que estas ocurren con diferentes intensidades, el sistema instalado deberá de proteger contra sus efectos, considerando las descargas promedio sobre un área.

Un sistema de protección contra descargas atmosféricas, debe:

1. Capturar el impacto del rayo directo en puntos preferentes y conocidos. Esto significa la instalación de uno o más terminales aéreas de captación en los edificios.
2. Conducir la descarga a tierra de una forma segura a través de una ruta conocida. Se debe instalar dos o más sistemas de conducción o bajantes a tierra.
3. Disipar a tierra las descargas del rayo. Esto requiere la instalación y mantenimiento de un sistema de puesta a tierra efectivo y de baja impedancia.
4. Eliminar inducciones a través de tierra o lazos de tierra. Se requiere la planificación cuidadosa de la creación de un sistema de puesta a tierra. Una red de tierras de baja impedancia es esencial.
5. Proteger todas las líneas de potencia que entren en la estructura o edificio contra sobretensiones. Se requiere la instalación de protectores o filtros reductores específicos contra sobretensiones, equipos estabilizadores, sistemas de alimentación ininterrumpida y otras medidas dependiendo de las circunstancias de cada lugar.

6. Proteger todas las líneas de datos y de señal que entren o salgan de la estructura o edificio contra sobretensiones. Esto implica la instalación de barreras y aparatos de protección de alta velocidad y la correcta puesta a tierra de los cables con pantalla electrostática.

Alrededor del siglo XVIII, Benjamín Franklin demostró a través de un experimento, que las descargas eléctricas atmosféricas presentaban un comportamiento igual a las cargas eléctricas generadas por fricción. Tiempo después inventó el pararrayos con la finalidad de proteger edificaciones y personas de los efectos del rayo.

Los Sistemas de Protección contras Descargas Atmosféricas, son fundamentales para la seguridad de las personas y las estructuras. Las características más importantes con las que deben cumplir estos sistemas son:

- La terminal aérea de un pararrayos no debe superar tres metros de la superficie de la estructura a proteger.
- El radio de cobertura será determinado por la longitud resultante desde la ubicación de la terminal aérea de captación hasta el punto más desfavorable de la estructura a proteger, cumpliendo con margen de seguridad de 10% y en ningún caso el radio de protección debe superar 100 m para garantizar lo efectivo de la protección.
- Las bajantes de tierra serán lo más verticalmente posible, no efectuando curvas con radios no inferiores a 20 cm, ni con cambios de dirección con ángulos a 90 grados centígrados de apertura, por recomendación se hace referencia tener una segunda bajada a tierra para mejorar el índice de seguridad de la instalación.
- La toma de tierra juega un valor importante en la instalación, ya que su resistencia óhmica debe ser lo más baja posible.

El mantenimiento de un sistema de protección contra el rayo debe consistir en una revisión periódica de 3 veces al año e inmediatamente después de que se tenga constancia de haber recibido una descarga eléctrica atmosférica. No se debe de olvidar, que estos trabajos periódicos conservan en perfecto estado la instalación y evita costos mayores de reparación.

2.3.1 Sistemas de Protección Contra Tormentas Eléctricas (SPTE).

Un sistema de protección contra tormentas eléctricas diseñado e instalado con las especificaciones indicadas en la Norma Mexicana NMX-J-549-ANCE, reduce el riesgo de daño que puede provocar uno de estos fenómenos. Para que uno de estos sistemas de protección sea integral debe de estar compuesto por un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas (SEPTE) el cual está formado por elementos para interceptar, conducir y disipar la corriente de la descarga; y un sistema interno de protección contra tormentas eléctricas (SIPTE) basado en uniones equipotenciales, blindaje electromagnético, puesta a tierra y protección contra transitorios.

Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas.

Antes de instalar un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas hay que tener en cuenta los elementos que lo conforman, estos son las terminales aéreas, conductores de bajada y sistema de puesta a tierra, para la selección de cada uno de estos elementos hay que considerar requisitos que se abordarán en cada uno de los temas siguientes.

En el caso de los conductores de bajada tienen que ver con el tipo de sistema de protección seleccionado, que puede ser aislado o no aislado. El número de electrodos de puesta a tierra, individual o en arreglo, determinarán el cumplimiento del valor de resistencia a tierra.

En función de la norma NMX-J-549-ANCE-2005, considera tres partes fundamentales para un SPTE, la Valoración de riesgo, el diseño de SEPTE y el diseño del SIPTE.

1) Valoración de riesgo.

En el análisis y diseño de un sistema integral de protección, comenzamos con la valoración de riesgo, cuyo objetivo es evaluar, en términos de probabilidad, la incidencia de un impacto de rayo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo. Este cálculo, permite definir las características y ubicación de los elementos de todo el SPTE, incluso determina la necesidad de instalar el sistema externo.

El valor a calcular, es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura (No).

En donde:

$$N_o = N_g \times A_e \times 10^{-6} \tag{1}$$

N_g = densidad promedio anual de rayos a tierra por km^2 (densidad de rayos a tierra).

A_e = Área equivalente de captura de la estructura, en m^2 .

El siguiente parámetro, N_d , es la frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura, en otras palabras, es el riesgo permitido de incidencia de un rayo directo a una estructura, definida por su tipo, uso y contenido. Estos valores se aprecian en la tabla 6, (combinación de la tabla 1 y 2 pertenecientes a la NMX-J- 549-ANCE-2005).

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (N_d)	*Nivel de protección recomendado

Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0.04	III ó IV
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales.	0.02	II ó 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.	0.04	III
Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones	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	II
de tren ligero o metropolitano .			

Hospital Asilo Reclusorio	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	I ó II
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, curtidorías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0.01	I ó II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0.02	II
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de Servicio.	0.02	I ó II
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.			

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

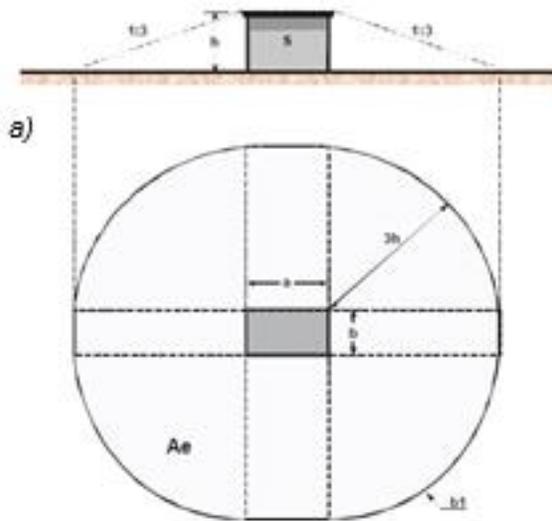
Tabla 6.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.

Las áreas equivalentes de captura, pueden ser muy variadas y se han clasificado de tres formas en general:

1. Estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano y de dos aguas, (Fig. 2.3.1).

Terreno plano y techo plano.

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9nh^2$$



Terreno plano y techo a dos aguas.

$$A_e = ab + 6hb + 9nh^2 \quad (2)$$

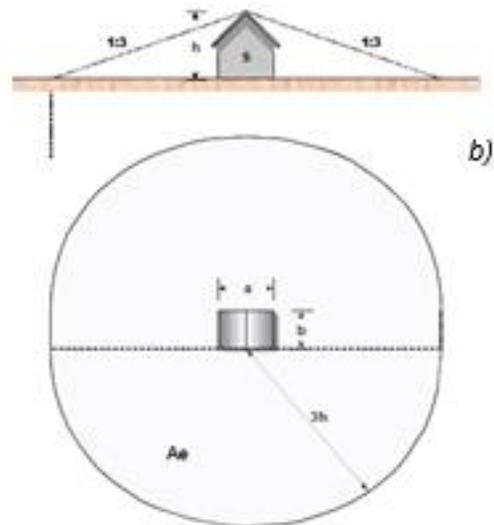


Figura 2.3.1.- Área de captura equivalente para una estructura de terreno plano y (a) con techo plano, (b) con techo a dos aguas.

En donde:

A_e = Área equivalente de captura, [m²];

a = Longitud de uno de los lados de la estructura, [m];

b = Longitud de otro lado de la estructura, [m];

h = Altura de la estructura, [m].

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

2. Estructura aislada ubicada en terreno irregular, (Fig. 2.3.2).

$$A_e = ab + 6h_e(a + b) + 9nh_e^2 \quad (3)$$

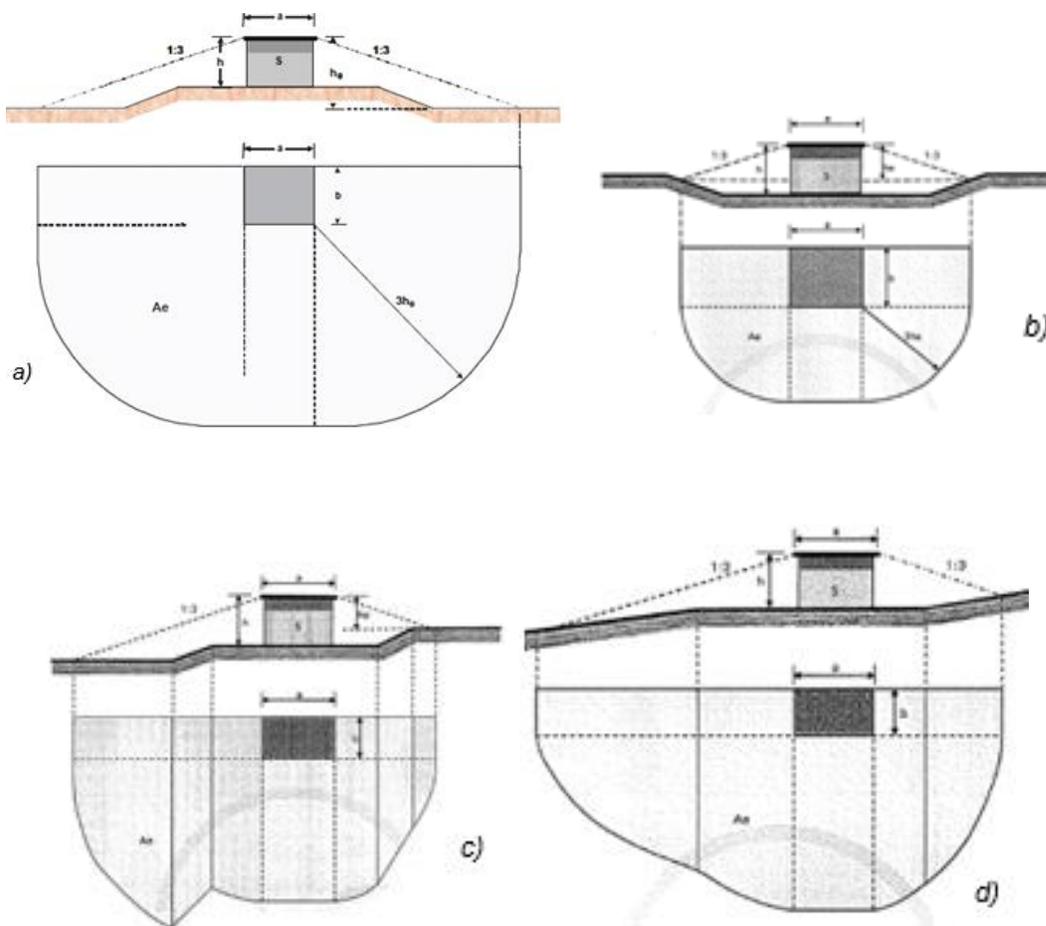


Figura 2.3.2.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular, (a), (b), (c), (d).

En donde:

A_e = Área equivalente de captura, [m²];

a = Longitud de uno de los lados de la estructura, [m];

b= Longitud de otro lado de la estructura, [m];

h_e = Altura equivalente de la estructura en el terreno irregular, [m].

NOTA, en la figura 2.3.2, $h=h_e$.

3. Estructura con otras adyacentes, primero se calculan las distancias correspondientes con la siguiente ecuación y posteriormente el área equivalente de captura.

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

En donde:

X_s = Distancia equivalente, [m²];

h_s = Altura del objeto vecino, [m];

h= Altura de la estructura bajo consideración, [m];

d= Distancia horizontal entre la estructura y el objeto vecino, [m].

Los mencionados objetos vecinos influyen significativamente sobre el área equivalente cuando la distancia entre ellos son menores que 3 (h + h_s). En este caso, sus áreas equivalente se traslapan, el A_e calcula mediante el área resultante en la intersección de las líneas perpendiculares a la línea de trazado entre el objeto a protegerse y el objeto vecino a una distancia equivalente, (Fig. 2.3.3).

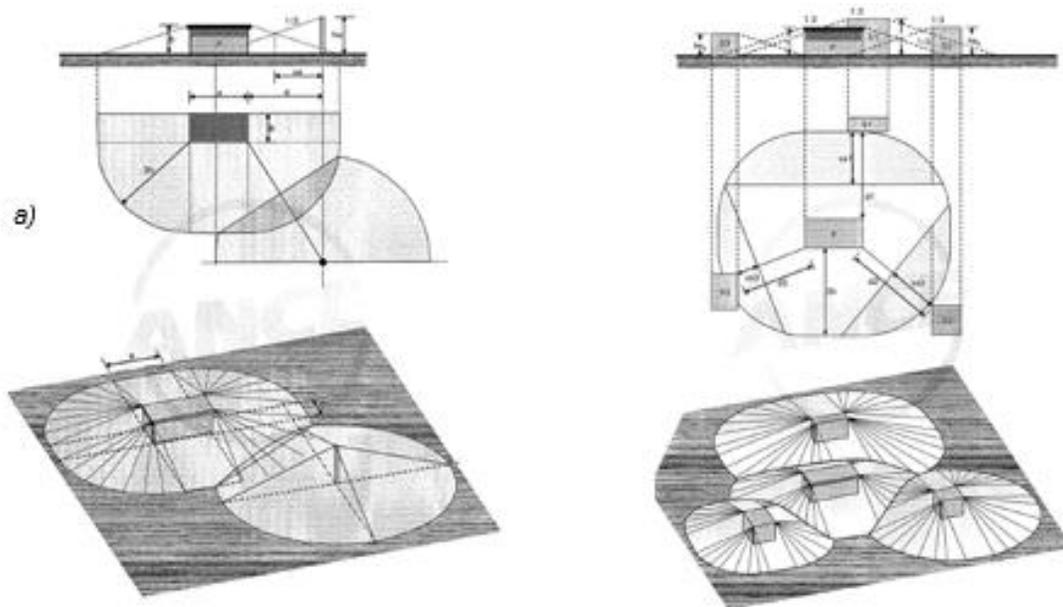


Figura 2.3.3.- Área de captura equivalente para una estructura con objetos vecinos, (a), (b).

Después de obtener el área de captura, se calcula el valor de N_0 y debe ser comparado con el valor de frecuencia media anual permitida N_d , así se puede evaluar la necesidad de protección con las siguientes consideraciones:

- a) Si N_0 (estimado) es $\leq N_d$ (tabla 6, valor permitido), el SEPTE es opcional.

La condición mencionada indica que el SEPTE puede o no ser instalado. A pesar de que el riesgo estimado es menor que el riesgo permitido, aún existe la posibilidad de que un rayo impacte sobre la estructura que no cuenta con el SEPTE.

- b) Si N_0 (estimado) es $> N_d$ (tabla 6, valor permitido) debe instalarse un SEPTE.

La cuarta columna de la tabla 6, es para seleccionar el nivel de protección que debe utilizarse para la ubicación y altura de las terminales aéreas, dependiendo del tipo y uso de la estructura indicado en la misma.

En cualquiera de los casos, si se coloca o no el SEPTE, la protección debe ser integral y debe ser instalado el sistema interno de protección SIPTE.

En caso de ser necesario el SEPTE, también se puede determinar el nivel de protección correspondiente, calculando la eficiencia, tabla 7 (tabla 5 de la NMX- J-549-ANCE-2005).

Eficiencia:

$$E = 1 - \frac{N_o}{N_d} \quad (5)$$

Nivel de protección	Eficiencia SEPTE
I	0.98
II	0.95
III	0.9
IV	0.8

Tabla 7.- Cálculo de la Eficiencia.

Los experimentos de Franklin crean el primer sistema de protección contra descargas atmosféricas, consistente en una “varilla metálica colocada en posición vertical sobre un punto elevado, una varilla enterrada en tierra, y un conductor se conecta ambas”; él observó que de esta manera, las descargas atmosféricas incidían en la varilla elevada, recorriendo el camino de menor resistencia hacia tierra, y así reduciría la posibilidad de daños en elementos cercanos. En otras palabras, consiste en establecer un punto de impacto (pararrayos) interceptando la trayectoria del rayo, un camino definido de baja resistencia, que conjuntamente trabajan para captar y posteriormente drenar la corriente a tierra y evitar altos niveles de voltaje durante la descarga.

Estos elementos conforman un SEPTE, (Fig. 2.3.4).

- Terminales aéreas. El número de estas y su ubicación dependerán del nivel de protección seleccionado, así como la aplicación del método de la esfera rodante.
- Conductores de bajada. El número de conductores y su ubicación dependerán del tipo de sistema de protección seleccionado, puede ser aislado o no aislado.
- Sistema de puesta a tierra. El número de electrodos (ya sea individual o en arreglo), lo determina el cumplimiento del valor de resistencia adecuado.

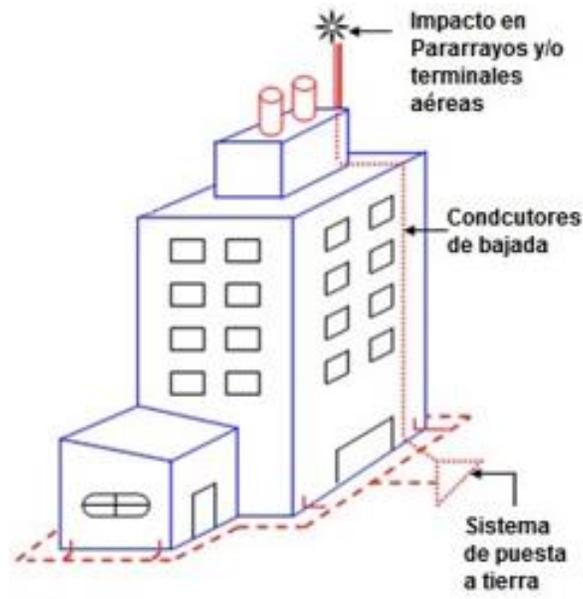


Figura 2.3.4.- Elementos que conforman el Sistema de Protección Externo contra Tormentas Eléctricas.

2.4 Tipo de pararrayos.

Sea cual sea la forma ó tecnología utilizada, todos los rayos tienen la misma finalidad: ofrecer al rayo un camino hacia tierra de menor resistencia que si atravesara la estructura del edificio.

Existen dos tipos fundamentales de pararrayos, el pararrayos de puntas y pararrayos reticulares también conocidos como “Jaula de Faraday”:

- Pararrayos de puntas: formado por una varilla de 3 a 5 [m] de largo, de acero galvanizado de 50 [mm] de diámetro con la punta recubierta de wolframio (para soportar el calor producido en el impacto con el rayo). Si además se desea prevenir la formación del rayo, pueden llevar distintos dispositivos de ionización del aire. La zona protegida por un pararrayos clásico tiene forma cónica, (Fig. 2.4).

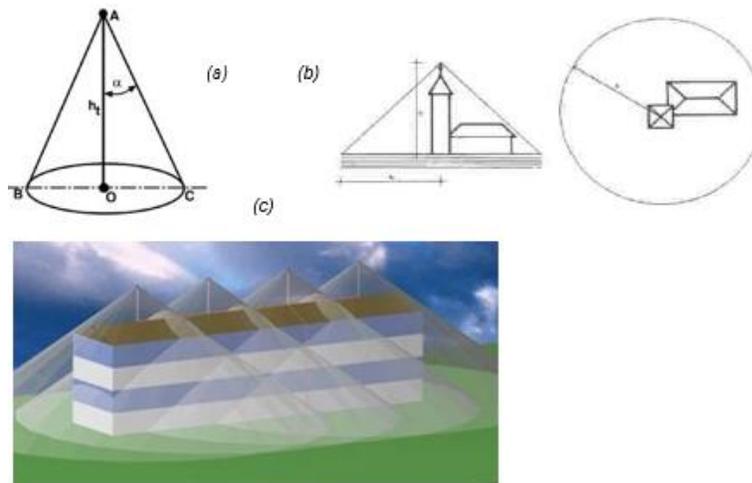


Figura 2.4.- Protección cónica. (a) Parámetro de la figura cónica. (b) Representación de la protección de zona (radio de protección). (c) Ejemplo de protección en un edificio.

En este tipo de pararrayos, el efecto de compensación de potencial es muy reducido, por lo que en zonas con alto riesgo suelen usarse otro tipo de pararrayos.

- De tipo radiactivo: consiste en una barra metálica en cuyo extremo se tiene una caja que contiene una pequeña cantidad de isótopo radiactivo, cuya finalidad es la de ionizar el aire a su alrededor mediante la liberación de partículas alfa. Este aire ionizado favorece generación del canal del rayo hasta tierra, obteniendo un área protegida de forma esférico-cilíndrica.
- Tipo ión-corona solar: este tipo de pararrayos incorpora un dispositivo eléctrico de generación de iones de forma permanente, constituyendo la Mejor alternativa a los pararrayos atómicos. La energía necesaria para su funcionamiento suele proceder de fotocélulas.
- De tipo piezoeléctrico: se basa en la capacidad de los materiales piezoeléctricos, de producir carga eléctrica a partir de los cambios en su estructura debido a presiones externas (tales como las producidas por el viento durante un vendaval).

Para mejorar el comportamiento de los pararrayos de punta, puede usarse la técnica denominada "matriz de dispersión", que consiste en un conjunto de puntas simples o ionizadoras cuya misión es la de ofrecer una multitud de puntos de descarga entre tierra y nube, así mismo repartir esa descarga de neutralización en una mayor región de modo que se reduce la aparición de puntos con distintos potenciales que favorezcan la aparición del rayo.

- b) Pararrayos reticulares o de jaula de Faraday: consisten en recubrir la estructura del edificio mediante una malla metálica conectada a tierra.

Hay que hacer notar que los edificios modernos con estructura metálica, cumplen una función similar a las jaulas de Faraday, por lo que la probabilidad de que un rayo entre en uno de estos edificios es extremadamente pequeña, (Fig. 2.5).

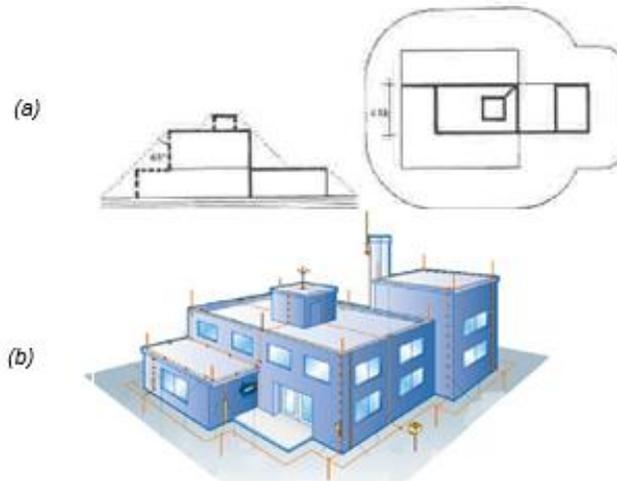


Figura 2.5.- Protección Jaula de Faraday. (a) Zona protegida mediante pararrayos reticular. (b) Ejemplo de protección en un edificio.

2.4.1 Métodos de ubicación de los captadores de rayo.

Método de la esfera rodante.

Dentro del Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas hay que considerar el desarrollo del método de la esfera rodante, éste 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 la descarga.

El radio de la esfera rodante debe ser equivalente a la longitud del último paso de la descarga para un valor pico de corriente del rayo. Para evaluar la longitud del último paso de la descarga se ocupa la siguiente expresión analítica:

$$r_s = K_s I^c \quad (6)$$

Donde:

r_s = A la distancia o longitud del último paso de la descarga (m).

K_s y c = A los factores obtenidos a través de estudios de campo del gradiente de potencia de grandes arcos eléctricos generados en laboratorios.

I = Al valor pico de la corriente del rayo de retorno (KA).

Dependiendo del nivel de protección, el radio de la esfera rodante se puede escoger a partir de la siguiente tabla 8, (tabla 3 de la NMX-J-549-ANCE-2005).

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

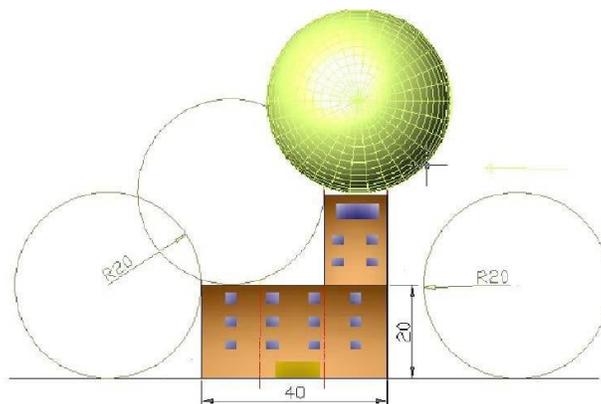
Nota: Esta corriente representa el valor mínimo al cual el nivel de protección ofrece una protección eficiente.

Tabla 8.- Nivel de protección del radio de la esfera rodante.

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

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

Para determinar gráficamente la altura mínima de la instalación de intercepción, se trazan arcos de circunferencias con radio igual a la distancia de impacto r_{sc} , entre los objetos a ser protegidos y las terminales de captación, de tal forma que los arcos sean tangentes a la tierra y a los objetos o tangentes entre objetos; cualquier estructura por debajo de los arcos estará protegida por el o los objetos que conformen el arco, y cualquier objeto que sea tocado por el arco estará expuesto a descargas directas, (Fig. 2.4.1).



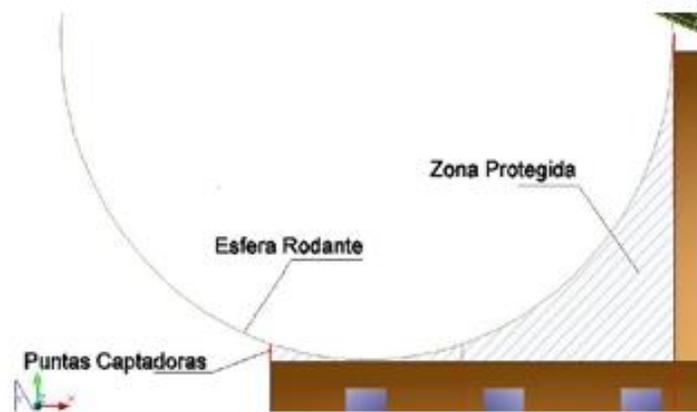


Figura 2.4.1.- Utilización y área a proteger del método de la Esfera Rodante.

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

Método del ángulo de protección.

Este método se basa en la asunción de que un captador u objeto elevado conectado a tierra crea un espacio cónico adyacente que es inmune al rayo. El concepto del "Cono de Protección" para definir una zona de protección tiene sus raíces en los inicios mismos de los estudios de protección contra rayo.

Es evidente que mientras más pequeño se asuma el volumen del cono de protección, más efectivo será el captador en la intercepción del líder de rayo. En algunas normas actuales, se usa un ángulo variable con la altura de la estructura. Además, este ángulo de protección puede aumentarse cuando se considera la ubicación de un captador en el interior de grandes superficies planas, debido a la reducida intensidad campo eléctrico.

Posicionamiento del sistema de captura.

La ubicación del sistema de captura se considera adecuada si la estructura a proteger está situada completamente dentro del volumen de protección dado por dicho sistema.

Para la determinación del volumen de protección sólo se considerarán las dimensiones físicas reales de los captadores. El volumen de protección mediante una punta Franklin se asume que tiene la forma de un cono recto de base circular con vértice localizado en el extremo de la punta y semiángulo a que depende del nivel de protección y altura de la punta.

El volumen de protección mediante un conductor tendido se define por la composición de los volúmenes protegidos por las puntas verticales virtuales y los conductores que viajan entre los extremos de las puntas.

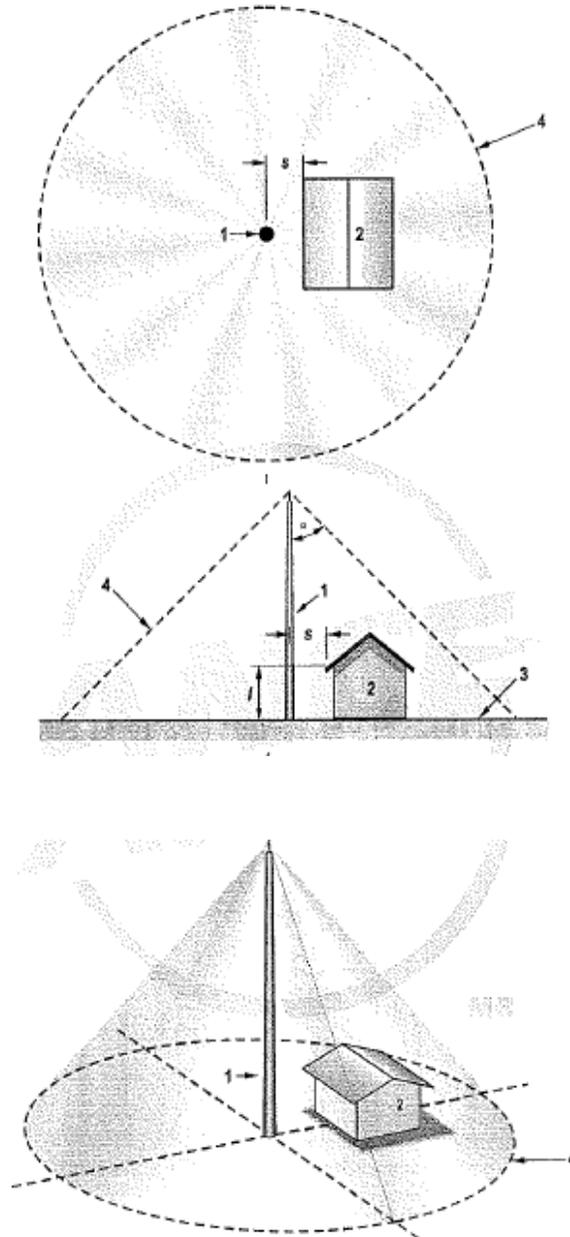


Figura 2.4.2.- Método del Angulo de protección utilizando una sola terminal aérea vertical para un SEPTE aislado.

Descripción:

1: Terminal aérea vertical.

2: Estructura a protegerse.

3: Plano de referencia.

4: Área protegida en vista de planta.

I: Longitud para la evaluación de la distancia de seguridad s.

α : Ángulo de protección.

s: Distancia de seguridad.

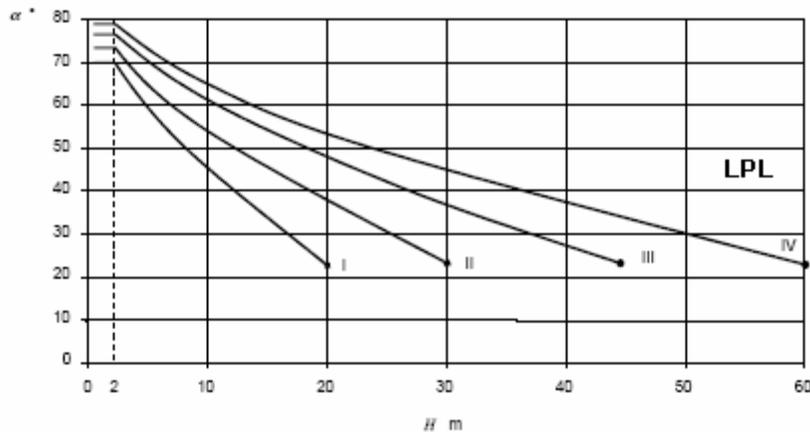


Figura 2.4.3.- Gráfica para la determinación del ángulo de protección (NMX-J-549-ANCE-2005).

Se puede seleccionar el ángulo de protección α (°) del gráfico superior o se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

El radio de protección es:

$$Rp = \sqrt{h(2Dh) + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad (7)$$

Donde:

h = Altura real del pararrayos por encima de la superficie a proteger.

D = Es el nivel de protección requerida por la norma siendo estos cuatro niveles.

Nivel 1 (N1) = 20m

Nivel 2 (N2) = 30m

Nivel 3 (N3) = 45m

Nivel 4 (N4) = 60m

ΔL = Es la constante de cebado y está dada por la fórmula:

$$\Delta L = 106 * \Delta T$$

Donde ΔT = Tiempo de cebado.

Método de la malla.

Consiste en establecer una malla rectangular de conductores.

El volumen protegido por conductores combinados en forma de malla está definido por la combinación de los volúmenes de protección que determinan los conductores individuales que componen la malla.

Se considera que este es un método eficiente para la protección superficies planas, o sea, de cubiertas planas horizontales e inclinadas sin curvatura y las superficies planas laterales contra descargas laterales.

Posicionamiento del sistema de captura.

Para su correcta ubicación deben satisfacerse las siguientes condiciones:

- a) Los conductores tienen que posicionarse por encima de las líneas de bordes, de las proyecciones y de las líneas de caballete de la cubierta, si la pendiente de la misma excede 1/10. En este caso pueden usarse conductores paralelos en lugar de la malla, si se garantiza que la distancia entre los conductores no sea mayor que el ancho de malla requerido.
- b) Las dimensiones de la malla captadora no serán mayores que los valores especificados para cada nivel de protección contra rayo.
- c) El sistema de captura se construye de manera tal que la corriente del rayo siempre encuentre como mínimo dos trayectos metálicos distintos hacia el sistema de puesta a tierra.
- d) No habrá instalaciones metálicas que sobresalgan del volumen protegido por los sistemas captadores.

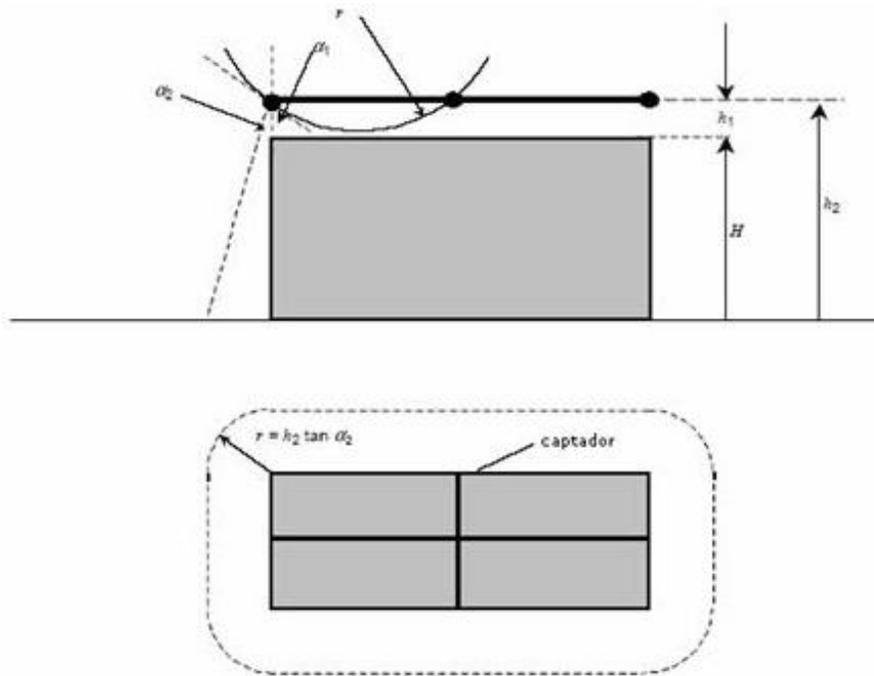


Figura 2.4.4.- Posicionamiento del sistema de captura utilizando el método de la malla.

Nivel de Protección contra Rayo	I	II	III	IV
Dimensiones máximas de la retícula (m)	5 x 5	10 x 10	15 x 15	20 x 20

Tabla 9.- Niveles de protección del método de malla.

2.4.2 Instalación de Pararrayos.

Según las Normas Tecnológicas de la Edificación es necesario la instalación de pararrayos en los siguientes casos:

- Edificios de más de 43 metros.
- Lugares en los que se manipulen sustancias tóxicas, radiactivas, explosivas o inflamables.
- Lugares con un índice de riesgo superior a 27. Este índice se calcula dependiendo de la zona geográfica, materiales de construcción y condiciones del terreno.

Se ha demostrado que con el tiempo, las descargas de rayos sobre un pararrayos tienden a cristalizar la tierra donde están enterrados los electrodos. Esto trae a consecuencia la

desintegración paulatina de los mismos y la pérdida de conductividad de la tierra, superando la resistencia de 10 [Ω].

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, del mismo modo, 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.

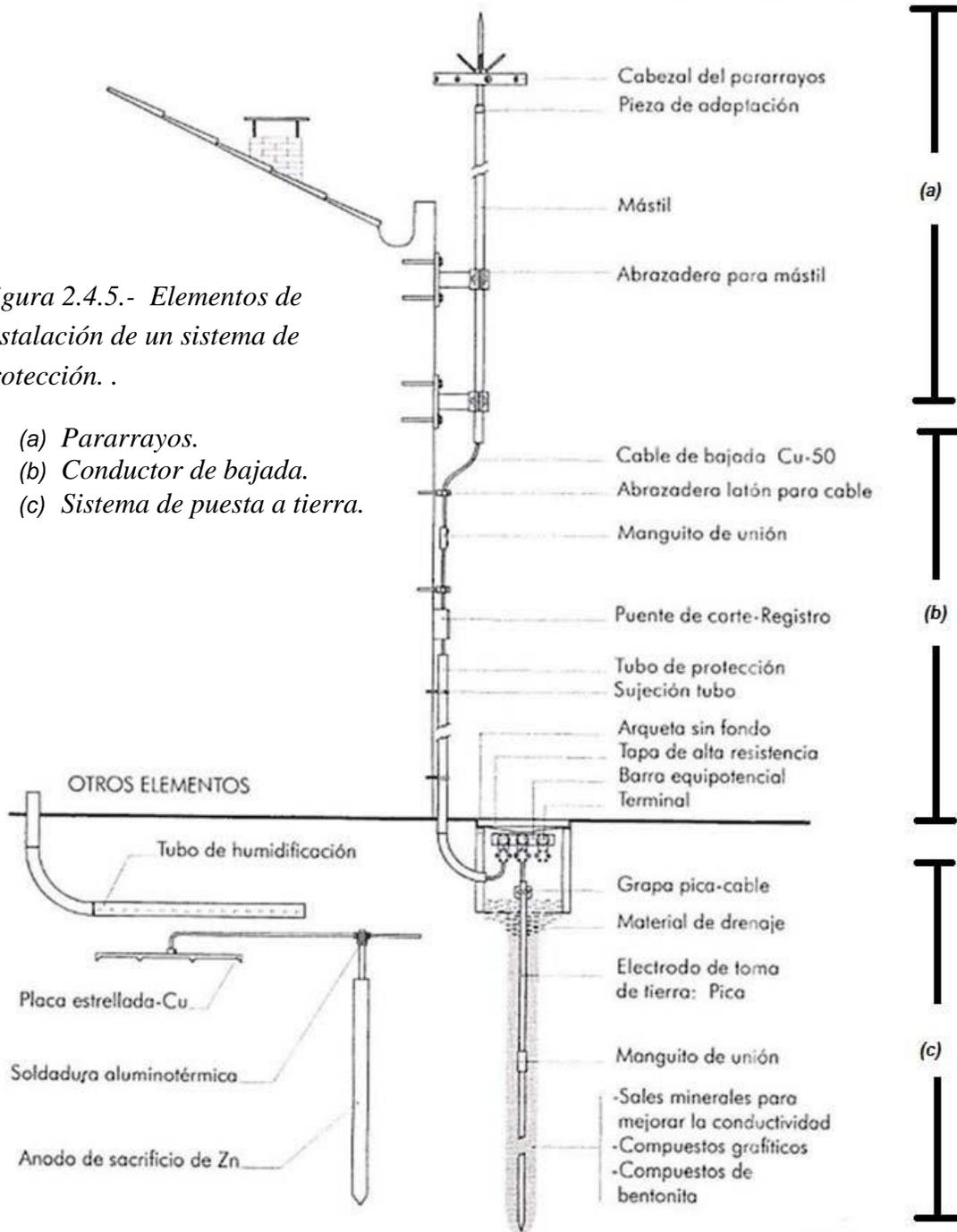
Aun contando con pararrayos, sería negligente dar por seguro una protección total. No sabemos cómo va a caer un rayo, pero si contamos con un alto porcentaje de certeza que atrayéndolos con una buena instalación para su descarga a tierra, protegeremos nuestras instalaciones.

Se sugiere también la instalación de protectores transitorios de sobretensión en el interruptor principal tanto en viviendas como en industrias, donde cualquier sobretensión en la línea será derivada a tierra actuando este como un conmutador protegiendo el resto de la instalación.

Se ha mencionado que la continuidad de los elementos del SEPTTE es sumamente importante para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema, toda la instalación, uniones, conexiones, etc., son ilustrados a continuación, (Fig. 2.4.5).

Figura 2.4.5.- Elementos de Instalación de un sistema de protección. .

- (a) Pararrayos.
- (b) Conductor de bajada.
- (c) Sistema de puesta a tierra.



2.5 Conductores de bajada.

Posteriormente a la acción de interceptar la trayectoria del rayo, la siguiente maniobra es conducir su corriente a lo largo de un conductor de baja impedancia, también conocido como “conductor de bajada” o “instalación derivador”, desde las terminales aéreas hasta el sistema

de puesta a tierra. Los objetivos de dicho conductor es no sobrecalentarse y evitar elevados niveles de voltaje durante la descarga.

Cuando se habla del calentamiento de las partes conductoras y el esfuerzo electrodinámico entre conductores, nos referimos a la energía específica que pasa a través de ellos. Si le asignamos un valor de resistencia en corriente continua R_{cc} , al conductor de bajada a tierra, su energía transferida será $E_w = R_{cc} (W/R)$ [J]. Esta deducción, nos muestra que si el valor de R_{cc} es más bajo en el conductor de bajada, la energía aportada también será menor, y esto reduciría la probabilidad de fusión y destrucción del conductor a causa del incremento de la temperatura al paso de la energía.

Este tipo de conductores es sometido a condiciones muy distintas a los empleados en instalaciones de distribución de energía eléctrica. Estas diferencias comienzan en el tipo de frecuencia en la que operan, 50 o 60 Hz, en tanto que en las descargas atmosféricas se presentan elevadas corrientes transitorias, que se llevan a cabo en tiempos muy breves. El pico de corriente llega a ser alcanzado en un par de microsegundos, y decrecerá a una velocidad más lenta, mientras que la polaridad de la descarga se mantendrá durante todo el pulso, ya que no hay una inversión en el sentido de la corriente. En su gran mayoría la energía se debe a una considerable componente continua, pero también se involucran importantes componentes de radiofrecuencia. Estas componentes producen los efectos de autoinducción e inducción mutua y de efecto pelicular (mejor conocido como efecto piel o efecto Kevin), que también afectarán al comportamiento del conductor de bajada.

En condiciones industriales, considerando a un conductor de extensión corta e instalaciones interiores, el conductor se comporta como una simple resistencia óhmica; en tanto que las características eléctricas y efectos mencionados en el caso de descarga atmosférica afectan su comportamiento, siendo su circuito equivalente en una configuración sencilla, el de una resistencia y una inductancia en serie.

Esta inductancia que caracteriza al conductor, implica que las bajadas sean trayectorias cortas y directas a tierra, con un mínimo de curvaturas, ya que estas aumentan el valor inductivo. En caso de que la curva sea inevitable, su radio de curvatura debe ser lo mayor posible, nunca inferior a 20 centímetros o curvaturas con ángulo menor a 90° .

Los conductores usuales para esta tarea son de alambre o cable de cobre, sin protección o aislamiento. Por razones de seguridad siempre deben existir mínimo dos caminos de descarga a tierra; ya que al presentarse una descarga, los conductores de bajada podrían tener impedancias distintas que pueden generar lateralmente diferencias de potencia, y así presentarse las descargas o arcos laterales que propicien una situación de riesgo, además la corriente que drena cada conductor de bajada hacia tierra produce inducción mutua entre las bajadas. Esta inducción mutua incrementa la impedancia que ofrecen las bajadas, por lo cual es recomendable que estos conductores se encuentren lo más alejados posible entre sí.

2.5.1 Parámetros a considerar en el diseño.

- **Materiales:** altamente resistentes a la corrosión. Se utiliza principalmente cobre, acero inoxidable, hierro galvanizado en caliente, aluminio.
- **Dimensiones:** sección mínima de 50 mm². En ambientes especialmente corrosivos, algunas normas recomiendan secciones mayores.
- **Geometría:** al ser más importante la inductancia que la misma resistencia en el conductor, se obtiene mayor beneficio trabajar con conductores planos y anchos.
- **Fijación:** debe ser de manera firme y permanente tanto a las terminales áreas como al sistema de puesta a tierra, puede fijarse directamente sobre la mampostería, excepto en que se considere material inflamable, en cuyo caso se emplean elementos de fijación específicos.
- **Trazado:** debe distribuirse uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura mediante una configuración lo más simétrica posible, procurar caminos directos y cortos a los elementos del sistema de puesta a tierra, y evitar cambios bruscos de dirección.
- **Número de bajadas:** la recomendación es de mínimo dos bajadas por captador, esto para sistemas instalados sobre estructura a proteger.
- **Equipos sensibles y zonas de riesgo;** se debe procurar que su camino sea distanciado de circuitos eléctrico, equipos electrónicos sensibles, y zonas de riesgo de fuego o explosión, accesos para el personal, así como puertas y ventanas.

El conductor de bajada se puede formar por elementos como una solera, una barra redonda, un cable, o un componente natural (acero estructural o de refuerzo). En cualquier configuración estos conductores de bajada deben ser desnudos, excepto de que sean diseñados para el confinamiento de campo eléctrico producido por la corriente de la descarga atmosférica. En cualquier situación debe respetarse la distancia de seguridad entre bajadas.

En la siguiente tabla 10, se observan las dimensiones mínimas de los conductores de bajada, propuesta por la tabla 13 de la NMX-J-549-ANCE-2005.

Material	Conductor de bajada mm ²
Acero	50
Cobre	16
Aluminio	25

Tabla 10.- Dimensiones mínimas de conductores de bajada.

Algunas partes de la estructura a proteger, llegan a formar parte del sistema de descarga llamándose “componentes naturales de bajada”. Estos pueden ser la estructura metálica del edificio (columnas y trabes), la armadura de acero (si fue construida con este fin, o cuente son uniones mecánicas o soldadas), y elementos de la fachada con perfiles metálicos. Estas conexiones no deben provocar problemas de corrosión, ya que afectarían la resistencia eléctrica de los elementos de la estructura así como la correcta continuidad eléctrica entre sus partes.

SEPTE aislado y no aislado.

Cuando se trate de un SEPTE aislado, los arreglos de las terminales aéreas y conductores de bajada, no deben tener contacto con la estructura a proteger, es decir, se debe conservar una distancia de seguridad “s” respecto a las partes metálicas de la instalación, este arreglo se sugiere para estas dos situaciones:

- Cuando el paso de la corriente del rayo pueda dañar la estructura.
- Cuando el paso de la corriente pueda generar un incendio o explosión.

En ambos casos, se recomienda el cumplimiento de los siguientes puntos:

- Si las terminales aéreas son independientes y separadas de la estructura, ó montadas de forma aislada a este, debe utilizarse cuando menos un conductor de bajada por cada terminal aérea.
- Si las terminales aéreas forman una red de conductores horizontales y están montadas en mástiles separados de la estructura, o montadas de forma aislada sobre esta, debe instalarse por lo menos un conductor de bajada por cada mástil soporte.
- A nivel de suelo, los conductores de bajada deben interconectarse al Sistema de Protección de Tierra (SPT).

Cuando el SEPTE es no aislado, a diferencia del caso anterior, se indica que las terminales aéreas y los conductores de bajada deben estar conectados a nivel de techo. Y a nivel de suelo, los conductores deben interconectarse con el SPT. En el caso de encontrar impedimentos físicos de la estructura para la conexión a nivel de suelo, se debe utilizar el acero de refuerzo o estructural de la cimentación para lograr el acoplamiento, para este caso también se hacen recomendaciones como las siguientes:

- Si el SEPTE se conforma por una sola terminal aérea, o también por terminales aéreas horizontales, deben emplearse dos o más conductores de bajada.
- Se recomienda la distribución de los conductores de acuerdo a la siguiente tabla. Estos se deben localizar cerca de cada una de las esquinas de la estructura, aplicando las sugerencias mencionadas anteriormente.
- Si la pared de la estructura está hecha de material inflamable, los conductores de bajada deben localizarse 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.

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

Tabla 11.- (tabla 6 de la NMX-J-549); Indica la distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección.

Como ejemplo característico de esta sección, se toma un edificio con distintas alturas en el techo y con un sistema no aislado de protección; donde se muestra la configuración principal o arreglo físico representativo de las conexiones entre terminales aéreas, los conductores de bajada y el sistema de puesta a tierra, (Fig. 2.5.1).

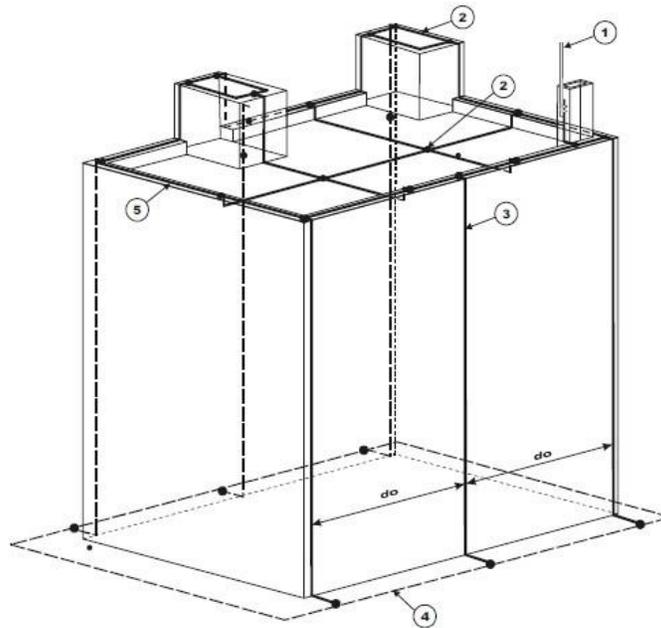


Figura 2.5.1.- Nota.-Se indica una sola terminal aérea vertical por motivos de claridad en el dibujo.

Donde:

1. Terminal aérea vertical.
2. Terminal aérea horizontal.
3. Conductor de bajada.
4. Sistema de Puesta a Tierra.
5. Conexión de terminales aéreas y conductores de bajada a nivel de techo.

2.5.2 Distancia de seguridad.

Se han mencionado numerosas recomendaciones y puntos importantes que deben ser tomados en cuenta a la hora diseñar de la protección. Por último, y no menos importante, se trata de la distancia de seguridad y rutas sugeridas para los conductores de bajada.

Las rutas del conductor de bajada, deben evitar zonas de tráfico de personas, cumpliendo con una distancia mínima de seguridad, como lo muestran las siguientes imágenes, (Fig. 2.5.2).

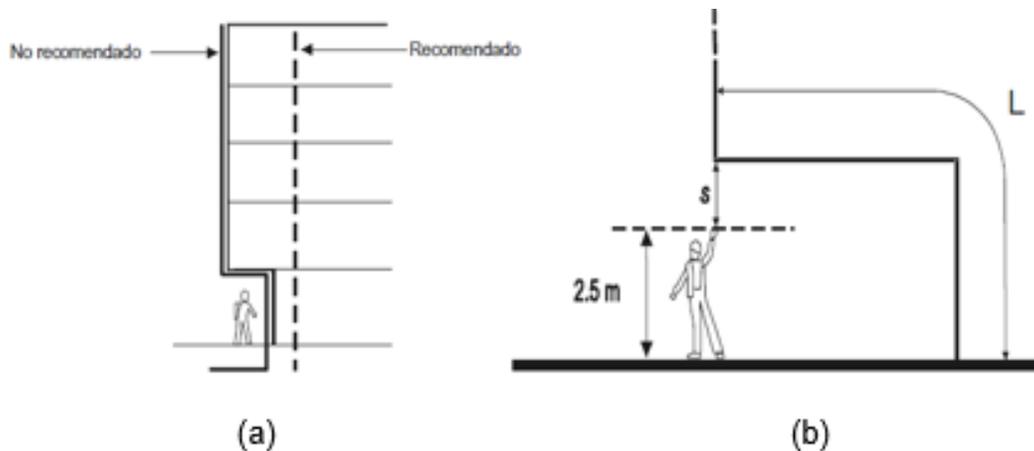


Figura 2.5.2.- (a) Ruta recomendada para conductores de bajada en edificios con geometrías complejas como la indicada con tránsito de personas. (b). Distancia de seguridad para el caso de un conductor de bajada en edificios con geometrías complejas. (Nota.- La altura de la persona con la mano alzada se considera de 2.5 [m]).

La siguiente ecuación se emplea para calcular la distancia de seguridad:

$$S = K_i \frac{K_c}{K_m} l ; d \geq s \quad (8)$$

Donde:

S= Distancia de seguridad [m].

d = Distancia entre los elementos a evaluar [m].

K_i = Depende del nivel de protección seleccionado del SEPTE (tabla 11, TABLA 7 NMX-J-549-ANCE-2005).

K_c = Depende de la configuración dimensional (Figura 2.5.3. a, b, c).

K_m = Depende del material de separación (aire o sólido) (tabla 12, TABLA 8 NMX-J-549-ANCE-2005).

l = Longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra [m].

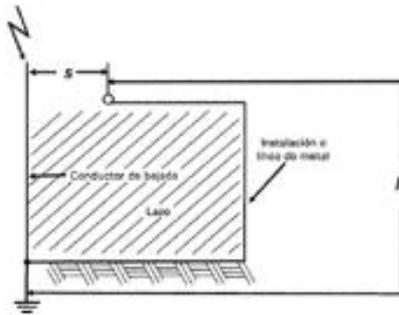
Nivel de protección	Coefficiente K_i
I	0.1
II	0.075
III Y IV	0.05

Tabla 12.- (tabla 7 de la NMX-J- 549-ANCE-2005); indica los valores de K_i para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPTE.

Material de separación	Coefficiente K_m
Aire	1.0
Sólido	0.5

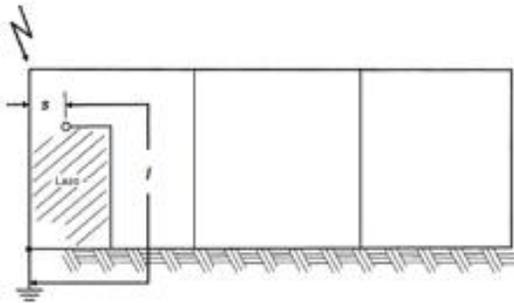
Tabla 13.- (tabla 8 de la NMX-J- 549-ANCE-2005); indica los valores de k_m para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPTE.

El valor del coeficiente K_c , configuración dimensional, se considera en función de los números de conductores de bajada. En la siguiente ilustración, (Fig. 2.5.3), se muestra la selección de dicho valor.



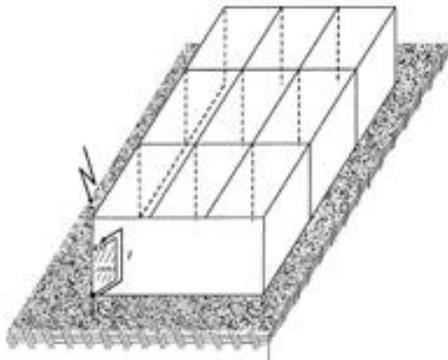
(a); valor del coeficiente k_c para uno o dos conductores de bajada.

$$K_c = 1$$



(b); valor del coeficiente k_c para tres o cuatro conductores de bajada.

$$K_c = 0.66$$



(c); valor del coeficiente k_c para más de cuatro conductores de bajada.

$$K_c = 0.44$$

Figura 2.5.3.- Valor del coeficiente k_c , para (a) uno o dos, (b) tres o cuatro, (c) más de cuatro conductores de bajada.

Donde:

s = Distancia de seguridad [m].

l = Longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra [m].

2.6 Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

En esta sección se definirán conceptos básicos que si bien están sumamente ligados, no significan lo mismo, en primer lugar tenemos puesta a tierra y tierra física. La puesta a tierra se refiere al camino que recorre la corriente desde el equipo aterrizado hasta el sistema de

tierra física; mientras que esta última es el “conector” que une al Planeta Tierra con la puesta a tierra.

El objetivo de todo sistema de puesta a tierra es proveer un camino con la más baja impedancia posible para que las corrientes de falla ó bien las que son ocasionadas por fenómenos transitorios, como lo son las descargas atmosféricas que llegan a descargarse a tierra. Una puesta a tierra adecuada denota que está acoplada a través de una conexión o conexiones de suficiente baja impedancia y capacidad de conducción de corriente de tal manera que impida los aumentos en la tensión que podrían resultar en peligros o riesgos indebidos y excesivos a personas o equipo conectado a la red eléctrica.

Se debe entender que la impedancia total del sistema de puesta a tierra y no su resistencia únicamente, tenga valores bajos que permitan disipar tanto los elementos de baja frecuencia como los de alta, generalmente contenidos en la descarga.

Otros conceptos que se deben tener claro antes de continuar con este tema son: resistividad y resistencia. La resistividad, también llamada como resistencia específica, es la propiedad que tienen todos los materiales para oponerse al paso de una corriente eléctrica. Se denota por la letra griega rho (ρ) y se mide en ohm- metro. De manera general la resistividad se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (9)$$

Donde:

R= Es la resistencia en ohm [Ω].

S= Es la sección transversal del conductor en [m²].

L= Es la longitud del conductor en [m].

Pasando este concepto a términos del estudio que nos compete, la resistividad la definimos como la propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, la cual se determina por el tipo de suelo, contenido de humedad, constitución química, temperatura, etc.

2.6.1 Toma de tierra.

Como antes se mencionó, el sistema de puesta a tierra sirve para proveer a la corriente de falla un camino seguro para su posterior disipación sin causar daño alguno tanto a personas o equipos conectados a la red eléctrica. Una vez que la terminal aérea ha captado el rayo, el derivador conduce a tierra su carga eléctrica para ser disipada a través de la toma de tierra, en este punto existen dos aspectos principales que se deben tener en cuenta:

- La resistencia del terreno con relación a la carga lateral.
- El potencial eléctrico en el suelo que rodea la zona a proteger.

En el esquema, (Fig. 2.6.1), I es la intensidad de corriente que se descarga en el conductor, L es la inductancia del camino que sigue la carga y R es la resistencia a tierra. SP puede indicar un sistema de conducciones metálicas (agua, eléctricas, telefónicas, etc.) enterradas y cuyo potencial es el de tierra.

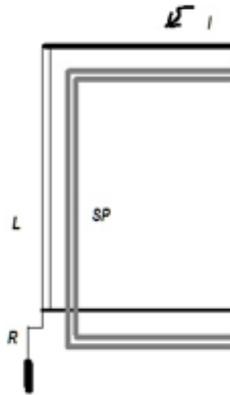


Figura 2.6.1.- Edificio con sistema de pararrayos metálicos y de conducción de fluidos.

Cuando la toma de tierra del sistema de protección se encuentra separada de las conducciones metálicas, existirá una diferencia de potencial entre una y otra. Esta tensión y el riesgo de descargas colaterales están en función de la resistencia de tierra. Para decremento dicho riesgo debe reducirse la resistencia al mínimo.

En zonas donde la resistividad es alta, dicha recomendación presenta dificultades. Una posible solución sería conectar la terminal de tierra de conducción tan cerca cómo se pueda de los puntos por los que éste entra en la zona protegida (edificio, casa, etc.) con lo cual la resistencia se reduce por efecto de la conexión en paralelo. El riesgo de descargas colaterales vendría determinado exclusivamente por la inductancia, siendo independiente del valor de la resistencia a tierra.

Se sugiere que todas las tomas a tierra se interconecten entre sí y con las conducciones metálicas también. Esta interconexión se le llama unión equipotencial y su fin es el de reducir las diferencias de potencial ocasionadas por un rayo cuando éste alcanza algún componente de intercepción como lo puede ser un pararrayos o antena, ya sea en un área cercana de la instalación o en la misma estructura. En el caso en el que se tengan sistemas de puesta a tierra para distintos servicios dentro de una misma instalación eléctrica (comunicaciones, servicio de energía eléctrica, etc.) la resistencia a tierra del SPT, debe ser menor o igual a $10 [\Omega]$ antes de la conexión con los sistemas existentes. No obstante, el uso de materiales plásticos en el sistema de suministro de agua afecta negativamente a su conexión eléctrica: si tales uniones

son el único medio de descarga a tierra, puede conllevar graves riesgos desde el punto de vista de la protección contra rayos.

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

Otro riesgo es cuando la toma de tierra se conecta con la cubierta de un suministro eléctrico o al terminal neutro de una instalación eléctrica, esto incrementa el potencial tanto en la cubierta como en este terminal mientras dura la descarga del rayo; por lo tanto, la instalación eléctrica del edificio puede resultar dañada. Por otro lado, para evitar este peligro basta con instalar derivadores de sobretensión adecuados.

En cuanto a las conducciones de gas, el riesgo que se plantea corresponde a las consecuencias de un chispazo en presencia de una fuga accidental. Pero si la conexión de las tuberías de gas se ha realizado correctamente, el riesgo de chispazos es prácticamente imposible y obviamente, la circulación de una corriente eléctrica a través de una conducción metálica de gas nunca dará lugar a una explosión. Sin embargo, si dicha conexión se ha omitido y la distancia entre la toma de tierra del sistema de protección y las conducciones y conexiones de gas son inadecuadas, esto puede favorecer una descarga colateral que provoque una explosión. Dicho de otro modo, las tuberías de gas no deben bajo ninguna circunstancia, ser utilizadas como electrodo de puesta a tierra.

De lo anterior podemos concluir que la conexión entre la toma de tierra del dispositivo de protección y las partes metálicas de los distintos sistemas de suministro reduce notablemente el riesgo de descargas colaterales. También debemos tomar en cuenta que este procedimiento resulta más barato que los diversos métodos para disminuir la resistencia del terreno, particularmente en aquellas zonas que se encuentran en un área de moderada o alta resistividad.

Se requiere un criterio para establecer la separación mínima entre la toma de tierra y aquellas zonas metálicas cuya conexión no es necesaria. Esta distancia viene dada por la razón $I(R/E)$, donde I y R son respectivamente, intensidad de corriente y resistencia, y E es la rigidez dieléctrica del terreno (cuyos valores típicos oscilan entre 0.2 y 0.5 [MV/m]). Un ejemplo sería considerando un mínimo de dos tomas de tierra, cada una de 10 [Ω] y con igual caída de potencial, y además se considera una intensidad de corriente de más de 100[kA], la separación mínima en el suelo arcilloso de 0.2 [MV/m] será de 5[m].

2.6.2 Terminales de tierra.

La resistencia de equilibrio (es decir, que no tiene carga eléctrica alguna) de una terminal de tierra está sujeta a variantes estacionales y debe tenerse cuidado en su instalación. Deberá ser

más profunda en lugares donde exista una pileta con agua o sea factible la congelación y debe estar alejada de objetos de masa considerable que emanen calor (donde el terreno tiende a researse).

Los cambios climáticos debidos a las diferentes estaciones del año, también son un factor a considerar, estos alteran los terrenos, especialmente los esponjosos, debido al gradual empobrecimiento del contacto entre la terminal de tierra con el terreno que lo rodea y del incremento paulatino en la resistencia de la toma de tierra. Por tal motivo, es preferible introducir la terminal en un suelo virgen.

Es poco recomendable disminuir artificialmente la toma de tierra mediante la colocación de compuestos químicos salinos debido a que este tipo de métodos sólo resulta efectivo durante un corto periodo y aumenta considerablemente el riesgo de corrosión.

Por otra parte, seleccionar el tipo de terminal de tierra viene dada por las características del terreno, su homogeneidad o estratificación, resistividad en las distintas capas, grado de humedad y el nivel de conductividad de esta agua, etc. En terrenos con alta resistividad, específicamente en los rocosos, las terminales en forma de anillo podrían considerarse como la única solución práctica.

Comúnmente, solo hay que determinar la resistividad de la superficie de cimentación.

Las planchas metálicas no son aconsejables, puesto que su utilización es muy costosa, además es difícil mantener un contacto adecuado con el terreno circundante. Casi siempre suelen recomendarse varillas como terminales de tierra. Por otro lado, una base de hormigón armado (mezcla de cemento reforzado con una armadura de barras de hierro o acero), habitual como cimiento de puntales de acero y de pilares de hormigón en la construcción moderna, puede reemplazar a las terminales de tierra. Su resistencia tiene una variación estacional idéntica a la de un electrodo de cobre enterrado cerca del cimiento, y la tasa de corrosión de su armadura es menor que la de un electrodo puesto en el mismo suelo.

En general, conforme a lo establecido en la NMX-J-549-ANCE-2005 vigente, un electrodo o terminal de puesta a tierra puede ser de cualquier tipo y forma siempre y cuando cumpla con estos aspectos:

- Material metálico.
- Tener una baja resistencia a tierra (no más de $10[\Omega]$ para cada arreglo de 3 electrodos por conductor de bajada cuando no estén interconectados).
- Todos los materiales utilizados en el diseño de un sistema de protección contra tormentas eléctricas deberán tener alta conductividad eléctrica, durabilidad y soportar la corrosión.
- Los materiales utilizados no deben ser nocivos para el medio ambiente.
- Los que se encuentren formados por diferentes piezas metálicas deberán estar unidas por medio de soldadura.

En la siguiente tabla, se muestra “Material y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de puesta a tierra”, conforme a la tabla 14 de la NMX-J-549- ANCE-2005.

Material	Configuración y dimensiones nominales mínimas	
Cobre	Cilindro 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)	0.25m ² Espesor mínimo 0.711mm
	Cable trenzado	53.5mm ²
Acero	Tubo galvanizado	Diámetro interior de 19mm Espesor de pared mínimo 2.71mm Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm
	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14.3mm mínimo y 15.5mm máximo Espesor mínimo del recubrimiento 0.254mm
	Placa plana galvanizada	500mm x 500mm Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm
	Varilla galvanizada	Diámetro de 13mm mínimo y 25mm máximo Espesor mínimo de recubrimiento 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 de 1.245mm de la lámina

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

Para el acero inoxidable el tipo de aleación deberá ser 304. Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de 10.5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo. La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general, esto quiere decir que es más inoxidable y resistente a la corrosión atmosférica y a ciertos ácidos, no puede ser templado y revenido ni pre-cocido de forma ordinaria. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío.

2.7 Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas (SIPTE).

Este sistema de protección consta de tres elementos:

1. Sistema de Puesta a Tierra (SPT).
2. Unión Equipotencial (UE).
3. Red interna de puesta a tierra.

2.7.1 Unión equipotencial.

Esta parte del SIPTE tiene como fin reducir el riesgo de un incendio ó explosión para evitar exponer a un peligro al personal y equipo ubicado dentro del espacio que será protegido ocasionado por la incidencia de un rayo. Es menester tomar medidas que garanticen minimizar las diferencias de potencial, estas acciones ó medidas se conocen unión equipotencial.

Convenientemente, todas las estructuras de acero y las estructuras de concreto con acero de refuerzo, si no son usadas como una parte del SPT, deberán ser unidas al SPT mediante el SPT, visto con anterioridad en este mismo capítulo.

Si una instalación comparte servicios tales como suministro de energía eléctrica, telefonía, cómputo, comunicaciones, sistema de pararrayos, sistema para drenar carga estática, etc., todos los sistemas de puesta a tierra deberán estar interconectados entre sí y bajo el nivel del suelo por lo menos 60cm. Llevando a cabo el procedimiento mencionado, se logra que en condiciones anormales de operación, todos los servicios tendrán la misma referencia a tierra, y así reducir fallas y daños a los equipos eléctricos y/o electrónicos.

Los elementos que constituyen la UE son:

- Conductores de unión: Utilizados para interconectar dos partes metálicas. Su longitud deberá ser lo más corta posible y su sección transversal debe cumplir con los valores indicados en el capítulo 6 de la NMX-J-549-ANCE-2005.
- Barras de unión: Utilizadas para interconectar mediante los conductores de unión, elementos metálicos de diversos sistemas (energía eléctrica, telecomunicaciones, gas, agua, etc.), así como los elementos de estructuras metálicas de la instalación a un solo punto de unión.

- **Supresores de Sobretensiones Transitorias (SSTT):** Estos son parte fundamental del SIPTE, estos dispositivos se usan en dos casos. En primer lugar, para la protección de un equipo eléctrico ó electrónico sensible. Segundo, en donde no se permite el uso de conductores de unión, como lo puede ser en la unión de dos piezas metálicas aisladas entre si (tuberías de gas) y por restricciones del sistema de protección catódica (técnica para controlar la corrosión galvánica).

2.7.2 Red interna de puesta a tierra.

La puesta a tierra de los equipos eléctricos, electrónicos, estructuras metálicas, tuberías, elevadores, etc., que se encuentren en el interior de un edificio ó estructura, es un medio de seguridad en el cual uno de sus objetivos es la de garantizar la operación confiable y la integridad física de los equipos ante condiciones anormales y principalmente proporcionar seguridad a las personas.

La puesta a tierra deberá satisfacer lo indicado en las normas NMX-J-549-ANCE- 2005 y NOM-001-SEDE-2005 para instalaciones eléctricas.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO A PROTEGER.

La Estación de Servicio al cual se le aplicará el sistema de protección contra tormentas eléctricas bajo la “NOM-022-STPS-2015”, así mismo considerando la “NMX-J-549-ANCE-2005” para el desarrollo. Es una gasolinera localizada en Satélite Loma Larga en Tuxtla Gutiérrez, Estado de Chiapas (figura 3). Por ser una estación de servicio es necesario la instalación de un pararrayos, como se establece en el punto 7.5 de la NOM-022 STPS:

7.5 - Las zonas donde se almacenen, manejen o transporten sustancias explosivas o inflamables, deben estar protegidas con sistemas de pararrayos.

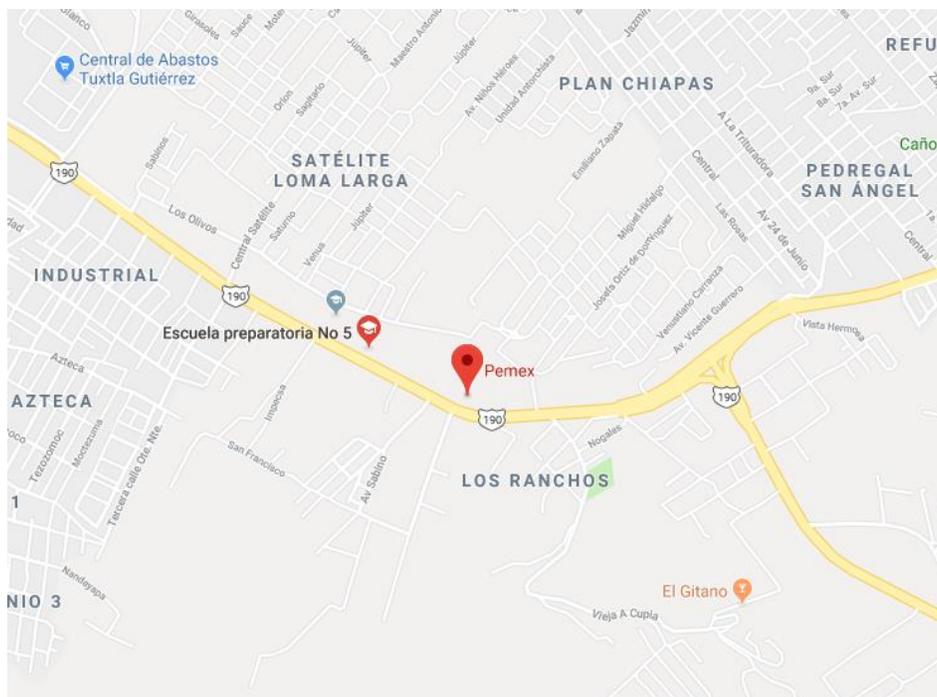


Figura 3.- Localización de la estación de servicio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

La estación servicio cuenta con las dimensiones mostradas en la tabla, basadas en los planos arquitectónicos como se ilustra en la figura 4.

Área	Longitudes de los lados de las estructuras:	
	Largo	Ancho
8,649m ²	80 m	93.26 m

Tabla 15.- Dimensiones de la estación de servicio.

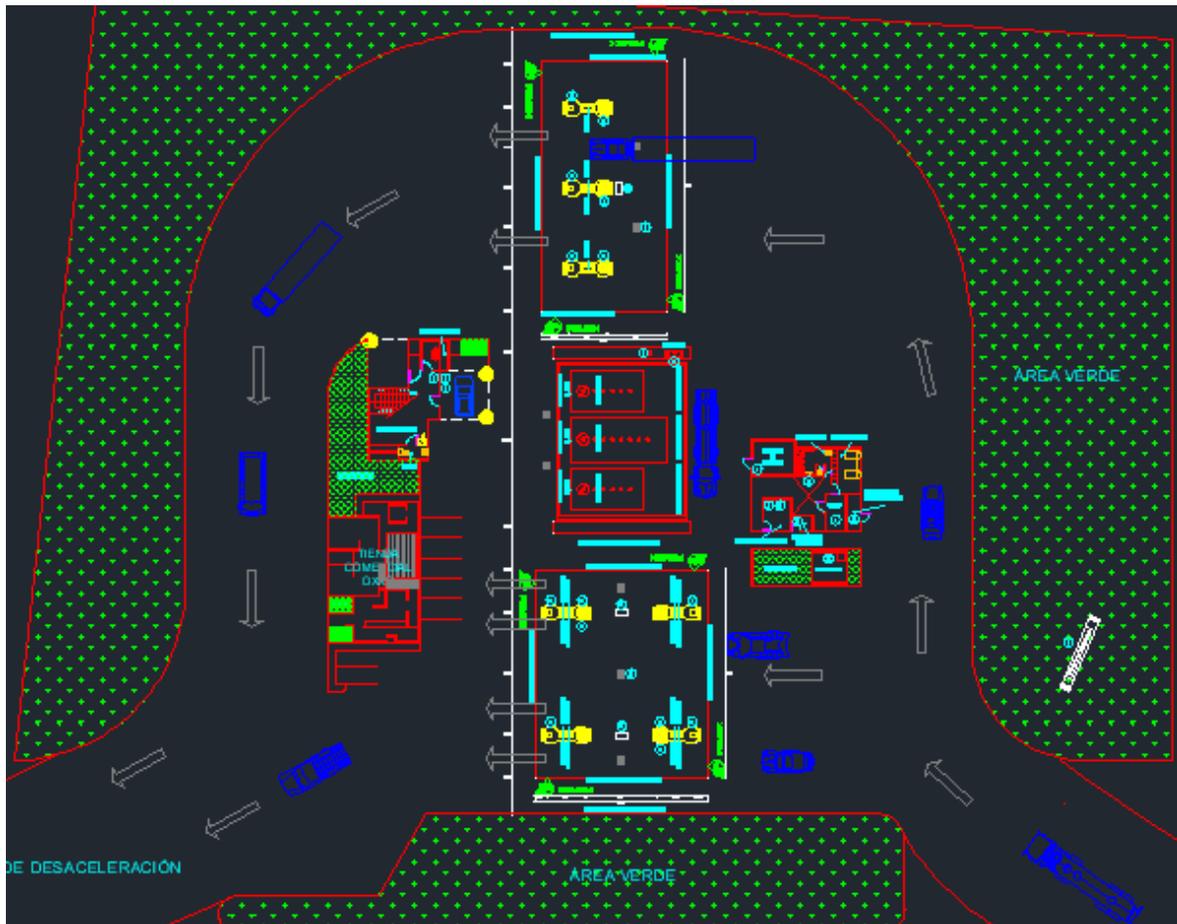


Figura 4.- Vista de la planta de la estación de servicio.

Con respecto a la figura 4 se puede observar que la estructura de la estación de servicio es amplia por lo que en él reside una diversidad de clientes. Por ello se debe de tomar en cuenta una protección contra descargas atmosféricas, ya que éstas al impactar pueden dañar muchos de los sistemas como los surtidores, tanques, bombas remotas y eléctricos como de control, de fuerza, entre otros, que integran a la estación de servicio y por ende el problema puede llegar hasta daños a las personas.

3.1 Valoración de riesgo.

La localización de la estación de servicio es importante porque permite evaluar el nivel del riesgo en el que se encuentra la estructura (Figura 3), cuando estas se instalan en zonas donde las densidades de rayos a tierra son mayores que 2 se debe desarrollar el sistema externo de protección contra descargas atmosféricas. Por ello en base a la ubicación de la estación de servicio se identificó con apoyo de la figura 5 y 6 la densidad de rayos a tierra por año.

Con respecto a la figura 5 se obtuvieron las coordenadas: 16.734271, -93.055022 correspondiente a lo que es Tuxtla Gutiérrez, Estado de Chiapas, lugar donde se encuentra la estación de servicio.

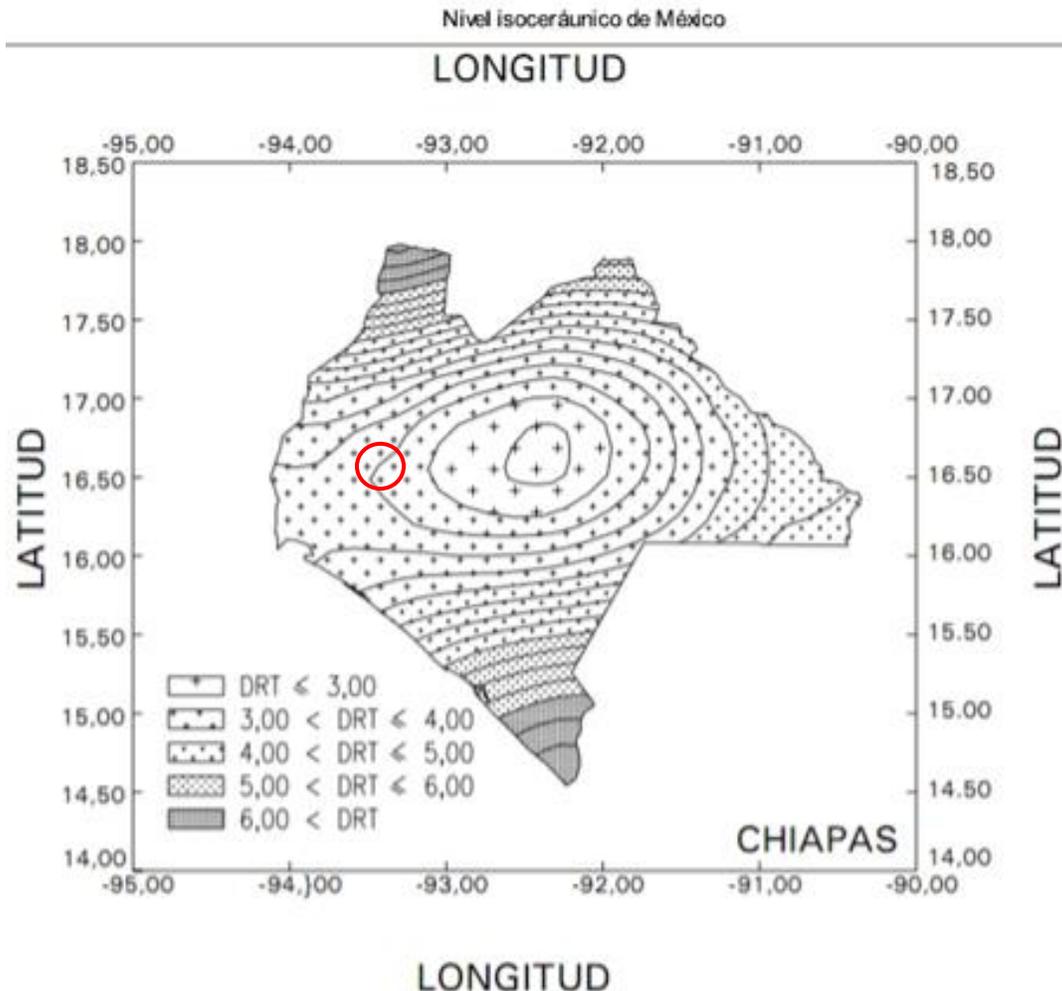


Figura 5.- Mapa del Estado de Chiapas con el promedio anual de densidad de rayos a tierra.

La densidad de rayos a tierra anual (Ng) resultante para la estación de servicio corresponde a 4 rayos/km²/año, por lo que se debe instalar un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas.

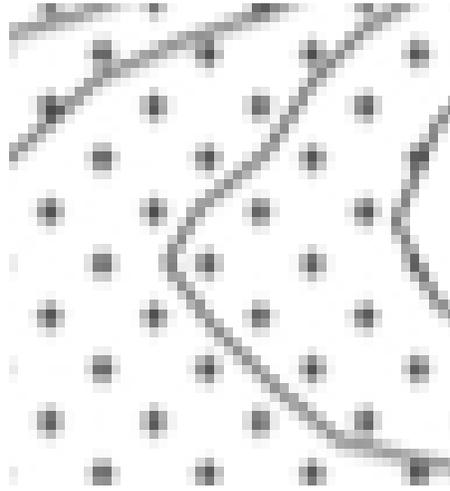


Figura 6.- Zoom de la ubicación del lugar en el mapa del Estado de México, densidad de rayos a tierra.

Evaluando, considerando y siendo una estación de servicio (gasolinera) y como lo establece la NOM-022 STPS, es necesario la instalación del pararrayos. Lo cual hay que tomar en cuenta ciertos puntos importantes para la protección de la estación de servicio, ya que es una gasolinera y es una zona donde se almacenan, manejan y transportan sustancias explosivas e inflamables, lo cual deben ser protegidas contra las descargas atmosféricas. Las áreas importantes a proteger en la estación de servicio son:

- Tanques subterráneos.
- Surtidores (dispensarios).
- Bombas remotas.
- Áreas de servicio o lubricación.
- Áreas de residuos peligrosos.
- Compresor.
- Cuarto eléctrico.
- Salas de ventas, de almacenamiento y oficinas.

Desarrollado el análisis de la valoración de riesgo de la estación de servicio y considerando que es necesaria la implementación de un sistema externo de protección contra descargas atmosféricas se procede a desarrollar la elección de los elementos que integran a este sistema a partir del cálculo del ángulo de protección.

3.2 Cálculo del radio de protección.

El cálculo del radio de protección se debe realizar mediante el método del ángulo de protección. Para determinar el radio es necesario identificar y seleccionar el nivel de protección. Se puede seleccionar el ángulo de protección α ($^{\circ}$) de la figura 2.4.3 visto en el

capítulo 2, por lo tanto el nivel de protección que se recomienda con respecto a la gráfica de la norma es un nivel de protección III.

Corroborando los resultados del radio del ángulo de protección obtenidos en la gráfica, se calcula el radio en base a la ecuación 7:

$$Rp = \sqrt{h (2D h) + \Delta L (2D + \Delta L)}$$

Donde:

$$h = 5m$$

$$D = \text{Nivel 3 (N3)} = 45m$$

$$\Delta L = 106 * \Delta T$$

Para nuestra punta de acero inoxidable es $\Delta T = 40\mu s$.

$$\Delta L = 106 * \Delta T$$

$$\Delta L = 106 * 40 \times 10^{-6}$$

$$\Delta L = 2.58789 \times 10^{-8}$$

Sustituyendo en la formula general:

$$Rp = \sqrt{5m (2(45m) 5m) + 2.58789 \times 10^{-8} (2(45m) + 2.58789 \times 10^{-8})}$$

$$Rp = 47^\circ$$

Considerando que el ángulo de protección tendrá un diámetro de 94 m, la distribución del ángulo es eficaz para la protección de los puntos importantes a proteger de la estación de servicio (gasolinera). La colocación del pararrayos se presenta como en la figura 3.2 del plano arquitectónico, con una altura de 5 metros a partir del techo de la oficina de contaduría, para el abarcamiento de los puntos importantes a proteger, así como el conductor de bajada para el sistema de puesta a tierra.

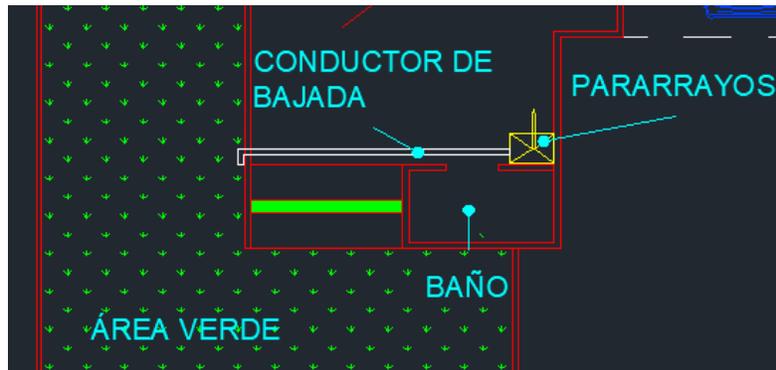


Figura 3.2.- Colocación del pararrayos.

En la figura 3.3 se muestra la estación de servicio a proteger con la proyección del método de ángulo de protección, que en base al cálculo nos resultó un radio de 47° suficiente para la protección de la estación de servicio.

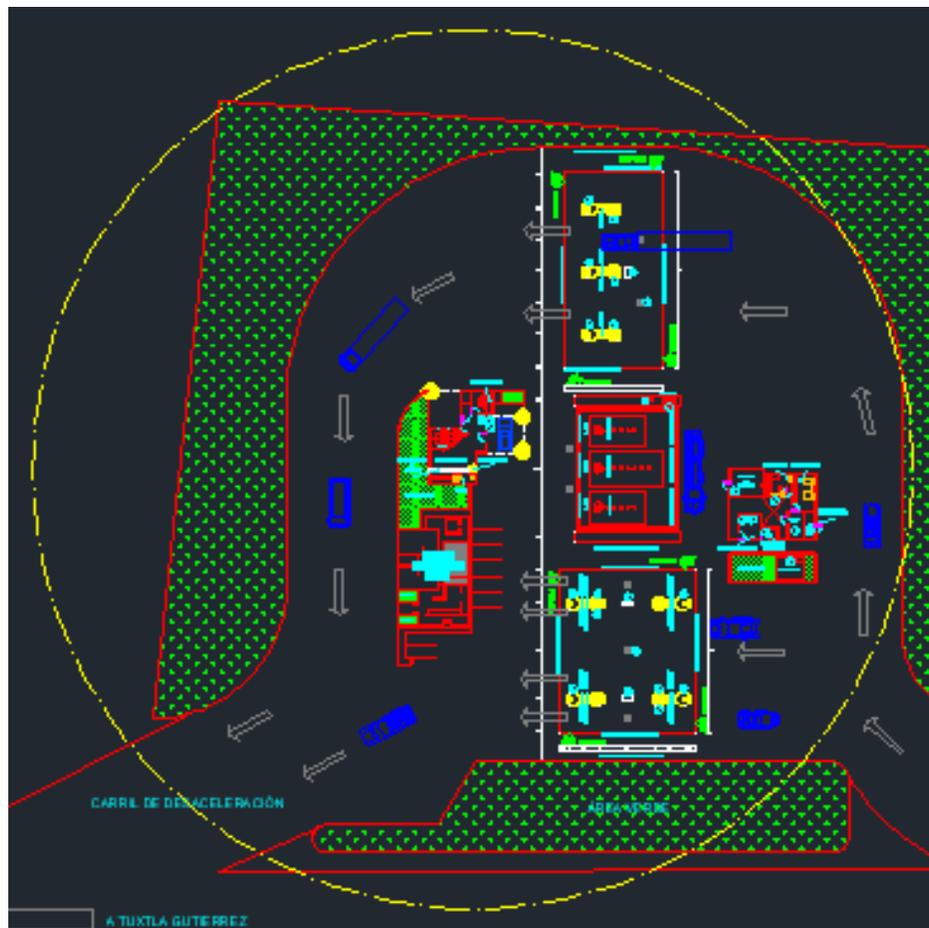


Figura 3.3.- Representación gráfica del ángulo de protección en la estación de servicio.

3.2.1 Selección del pararrayos.

La altura de la terminal está ilimitada con respecto a la formula y de los niveles que marca la norma por encima del objeto a proteger, considerando el radio de protección en el diseño. Por ello se proponen para la instalación un pararrayos tipo dipolo. Para su ubicación se debe considerar instalar adicionalmente el conductor de bajada a la esquina del techo con conductor desnudo calibre 4/0, 107.21mm², 28 hilos, siendo que la altura del techo de la oficina de contaduría queda en la segunda planta de la estación de servicio que se encuentra entre 6 m y 7 m de altura.

Especificaciones del pararrayos tipo dipolo:

Produce un efecto ionizador por medio de un anillo equidistante a la punta, que se encuentra en su parte externa, y cuenta con una bobina excitadora aislada mediante un dieléctrico (figura 3.2.1). El material con el que está fabricado es de aluminio.

Algunas de sus características son:

- Ángulo de cobertura de 60° de protección, el cual varía el radio de cobertura dependiendo de la altura.
- Aislante: Espuma de polietileno vulcanizado para la punta del mástil que lo soporta.
- Tipo: Toroidal.
- Ángulo de protección substancial: 72°.
- Corriente máxima: 40 000 A

Dimensiones:

- Diámetro Externo: 32 cm.
- Diámetro interno: 25 cm.
- Diámetro del orificio: 1.5 cm.
- Altura del Toroide: 5 cm.
- Altura Punta: 64 cm.
- Mástil: 120 cm.



Figura 3.2.1.- Pararrayos tipo dipolo.

3.2.2 Selección de los conductores de bajada.

El conductor de bajada para la estación de servicio se seleccionó cuidando la distancia mínima de seguridad para su trayectoria. Cuidando que la curvatura del conductor de bajada sea mayor o igual a 200 mm. Así mismo se considerará un conductor de bajada por la terminal aérea instalada, respetando las dimensiones del conductor horizontal (conductor desnudo calibre 4/0 AWG, 107.21mm², 28 hilos).

La distancia de separación entre los conductores de bajada debe considerarse con respecto a la longitud del edificio y su estructura de construcción, ya que un conductor no puede atravesar espacios abiertos, puertas o ventanas.

Para que los conductores sigan cumpliendo con la seguridad en la instalación se desarrolla el cálculo para obtener la distancia de seguridad con la ecuación 8.

Donde los valores de k_i y k_m se seleccionaron en base a tablas de la norma obteniendo los resultados en la tabla.

Nivel de protección	Coeficiente k_i	Coeficiente k_m
III	0.05	En sólido 0.5

Tabla 16.- Valores de k_i y k_m para el efecto de proximidad de las instalaciones y el SEPDA.

El valor de k_c depende de la configuración dimensional de los conductores de bajada, para la estación de servicio la configuración se determina para un conductor de bajada, teniendo que $k_c = 1$.

Sustituyendo los valores en la ecuación y considerando la longitud del conductor de bajada de 10 m se tiene:

$$S = 0.05 \frac{1}{0.5} 10$$

$$S = 1 \text{ m}$$

La configuración del conductor de bajada para el pararrayos se determinó considerando que la norma indica que cada punta de un pararrayos debe llevar su propio conductor de bajada y lo pueden llevar solamente las terminales aéreas que se encuentren en las esquinas de un edificio.

3.3 Arreglo del sistema de puesta a tierra.

Todo sistema de protección contra tormentas eléctricas debe estar conectado a un sistema de puesta a tierra (SPT) para disminuir los potenciales de paso y contacto, tratando de reducir el riesgo de electrocución y formación de arcos eléctricos en las partes metálicas que ponen en peligro a las personas y al equipo.

Cada conductor de bajada llevará un arreglo de 3 electrodos con la configuración que se muestra en la figura 3.4 cuando estos no se encuentren interconectados entre sí, se debe de mantener un nivel no mayor de 10 Ω como valor de resistencia a tierra por cada arreglo de electrodo de los conductores de bajada. Los electrodos se deben de unir con conductores desnudos horizontales enterrados, además de ir cada uno en un registro con dimensiones de 32cm x 32cm x 32cm (figura 3.5).

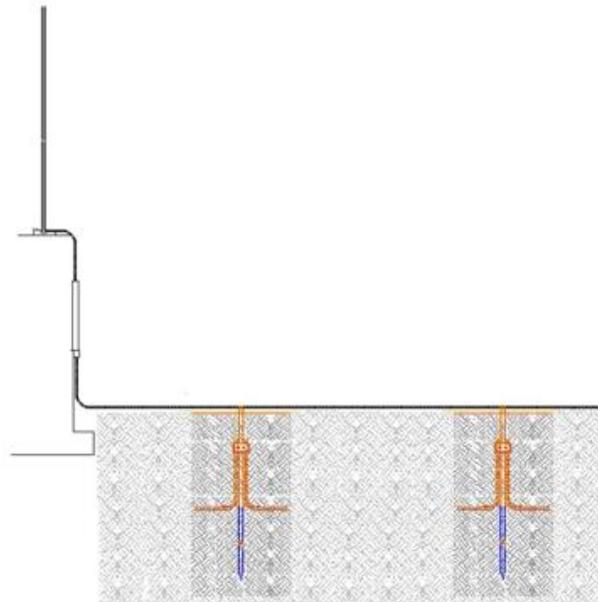


Figura 3.4.- Electrodos de puesta a tierra vertical y horizontal.

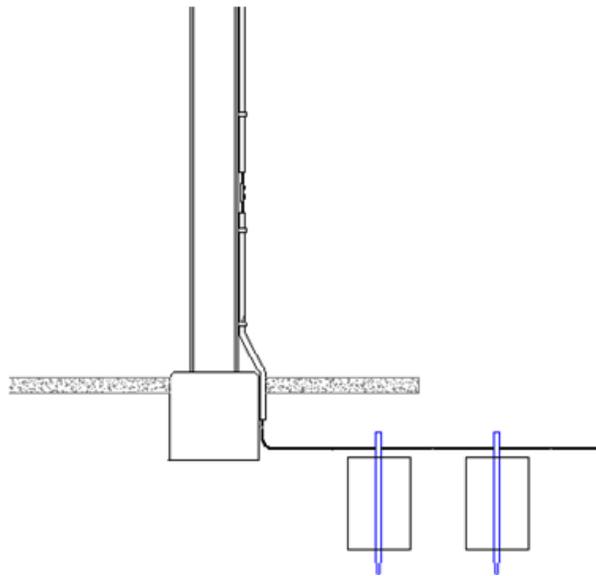


Figura 3.5.- Vista de electrodos puesta a tierra en registros.

Los electrodos de puesta a tierra van a ser varillas de acero con recubrimiento de cobre para que brinde la protección contra la corrosión del terreno su longitud se propone de 3 m, 16 mm (5/8 in), para su instalación se debe cuidar su separación que va a ser dos veces la longitud del electrodo. Para los electrodos horizontales su instalación será a 0.6 m mínimo de profundidad a una distancia mínima de 1 m a la estructura.

En otro caso que el área este alrededor de una estructura que se encuentre cubierta de concreto, por lo tanto no es necesario instalar arreglos adicionales de sistemas de puesta a tierra para la protección del tránsito de personas contra el riesgo de electrocución.

3.4 Análisis del SIPTE con respecto a la unión equipotencial.

Unión Equipotencial.

Cuando al SEPTE es impactado por un rayo se generan diferencias de potencial provocando la circulación de corrientes indeseadas y formación de arcos eléctricos, poniendo inseguros a los equipos y a las personas. Para evitar este tipo de accidentes es necesario igualar el potencial de todas o algunas de las partes metálicas de la instalación, lográndolo con la unión equipotencial.

Para ello es necesario contar con conductores de unión, barras de unión y supresores de sobretensiones transitorias (SSTT). Para el SEPTE se propone que va a ser un sistema aislado por la concurrencia de personas al lugar, así que todo el conductor desnudo de cobre para la conexión de pararrayos y conductores de bajada irán aislados en tubería de 21 mm (3/4”), por ello la UE en la instalación con los elementos del sistema externo se debe realizar a nivel del suelo y se deben de cumplir la distancia promedio y distancia de seguridad (15 m como

mínimo y 1.056 m respectivamente). Hay que considerar la UE en cada nivel de la instalación para la protección de los equipos y elementos metálicos, estas conexiones deben ser firmes y lo más cortas posibles al SPT.

UE a nivel interno.

La UE a nivel interno va a hacer referencia a la conexión de varias barras en forma radial a una sola barra (barra principal) conectada al SPT, cada uno de estos arreglos (figura 3.6) va a ser distribuido en toda el área a proteger ya que es muy extenso, los servicios y elementos metálicos serán conectados en un solo punto sin formar lazos cerrados entre los servicios. Así mismo, es importante ubicar una barra de unión cerca del tablero principal de alimentación eléctrica.

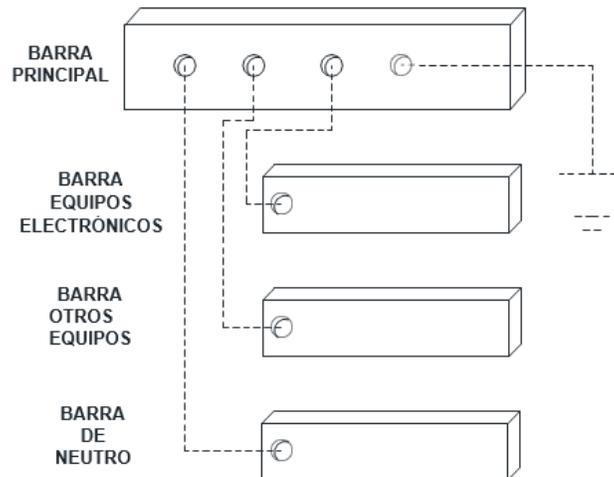


Figura 3.6.- Ejemplo de un arreglo para la UE a nivel interno.

3.5 Acciones para conservación de pararrayos.

La conservación de pararrayos es muy importante, ya que permite tener en buen estado el Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas y el Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas para su buen funcionamiento, así mismo evitar otro tipo de riesgos para las personas que concurren a la estación de servicio (gasolinera). Por ello es necesario que se le dé un correcto mantenimiento por personal capacitado, alrededor de cada seis meses.

Principalmente se hacen pruebas cualitativas, donde se revisa el estado de todos los elementos del sistema, otra prueba es cuantitativa, en ésta se llevan a cabo algunas

mediciones y por último se le debe de dar un mantenimiento preventivo, algunos de estos procedimientos se enumeran a continuación:

Pruebas cualitativas

- Revisar el cabezal de los pararrayos.
- Comprobar el amarre y posible oxidación del mástil.
- Verificar el estado del cable conductor del pararrayos.
- Comprobar amarre, conectores y tubo de protección.
- Comprobar que ningún elemento nuevo haya variado las condiciones del estudio de instalación del pararrayos original.
- Verificar el estado del supresor contra tensiones.
- Verificar el estado físico del mástil.

Pruebas cuantitativas

- Toma de tierra. Comprobar amarres, conectores y medida de la resistencia a tierra, recordando que no deberá sobrepasar los 10 Ω .
- Medir la resistencia del electrodo de puesta a tierra, este no deberá de sobrepasar los 10 Ω .
- Medir la continuidad de conexión electrodo – cable.
- Medir la continuidad de conexión cable – cable.

Mantenimiento preventivo

- Limpiar el registro a tierra.
- Reapretar las conexiones electrodo – cable.
- Verificar los puntos de agarre y unión de los tensores.
- Verificar el aislamiento de la estructura de soporte de pararrayos.

4. RESULTADOS

Los resultados son efectivos en el diseño e implementación del sistema de protección contra tormentas eléctricas en la estación de servicio (gasolinera). A continuación se presentan algunas fotografías del trabajo realizado.

En base a los criterios de protección y selección del pararrayos, se tomó a consideración la instalación del pararrayos tipo dipolo a una altura de 5 m en base a los cálculos antes visto en el capítulo anterior, que resultó favorable para la protección de la estación de servicio.



Figura 4.1.- Pararrayos tipo dipolo.

La colocación del pararrayos se centró en el techo de las oficinas centrales de dicha estación de servicio para la protección de esta. Con dicha bajada para el sistema de puesta a tierra.



Figura 4.2.- Base o mástil para el soporte del pararrayos.



Figura 4.3.- Bajada para el sistema de puesta a tierra.

Todo sistema de protección contra tormentas eléctricas debe estar conectado a un sistema de puesta a tierra para disminuir los potenciales de paso, con sus respectivos electrodos y sus registros interconectados entre si formando una delta.



Figura 4.4.- Electrodo con su respectivo registro.

Para finalizar el trabajo de la instalación del pararrayos se con lleva a las mediciones de puesta a tierra de la resistividad de los electrodos, así mismo aplicando la norma NOM-022-STPS-2015, que establece que no debe mantener un nivel no mayor de 10Ω como valor de resistencia a tierra por cada arreglo de electrodo de los conductores de bajada. El proyecto es

muy favorable ya que la medición está por debajo de los 10Ω , otorgándonos un buen sistema de protección contra las tormentas eléctricas.



Figura 4.5.- Medición del sistema de puesta a tierra.

5. CONCLUSIÓN.

En este trabajo se aplicó la NOM-022-STPS-2015 y la NMX-J-549 a una estación de servicio (gasolinera) para poder reducir el riesgo de daño que se presenta cuando ocurren tormentas eléctricas en la zona donde se encuentra, protegiéndolo contra las descargas atmosféricas, implementando un sistema de protección en toda la estación.

Este sistema de protección fue determinado bajo el método del ángulo de protección descrito en la norma, donde permite saber cuáles son las principales características de la terminal aérea, como su altura y el radio de protección generado por el pararrayos dependiendo del nivel de protección que se asigna para una estación de servicio con respecto a su ubicación.

Para la protección de la estación es importante reconocer los trabajos por parte de la ingeniería eléctrica, ya que es muy importante el trabajo que ejercen los ingenieros al desarrollar un proyecto en instalaciones eléctricas, estas personas no deben perder el objetivo de sus trabajos pero sobre todo la seguridad de las personas. En este caso también se considera la protección del personal de mantenimiento, ya que son quienes entran a las principales áreas de todo tipo de instalación.

Por ello, un ingeniero electricista debe pensar cómo va a llevar a cabo el proyecto en el que esté trabajando, que consideraciones, bases, conocimientos, herramientas, materiales y condiciones debe retomar en el lugar en el cual se encuentra la instalación a desarrollar, una de las bases principales para el ingeniero son las normas oficiales mexicanas (NOM) y las normas mexicanas (NMX). Para un ingeniero no hay información más importante que las normas, porque las normas brindan la información que hay que considerar en las instalaciones eléctricas, marcando los parámetros principales.

La norma NMX-J-549 presenta las consideraciones y el método necesario para la protección de las personas ya que nos rige como llevar a cabo la instalación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas dependiendo del edificio a proteger y su ubicación. La norma NOM-022-STPS-2015 establece para la creación de las condiciones de seguridad en los centros de trabajo que cuenten con electricidad estática, ya que puede estar en riesgo nuestra integridad si se incumplen las especificaciones expuestas en esta norma.

Con este proyecto de protección se toma conciencia de los riesgos que representan las descargas atmosféricas en espacios abiertos, en este trabajo en particular, una estación de servicio. Así mismo, consideramos que esta investigación puede adaptarse a cualquier otra zona, cumpliendo así es objeto propuesto al inicio de este proyecto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015; Electricidad estática en los centros de trabajo, condiciones de seguridad.

[2] Angeles, J. M. y Mora, L. D. (2010). Implementación del método de volumen de colección para la protección contra descargas eléctricas atmosféricas en la TDGL Poza Rica. (Tesis de Ingeniero Mecánico Eléctrico). Universidad Veracruzana, Poza Rica de Hidalgo, Veracruz.

[3] Gómez, P. y Guevara, B. (2013). Descargas atmosféricas. [Archivo PDF] Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional, México.

[4] Gutiérrez, M. y Martínez, P. (2007). Análisis del flameo inverso en líneas de transmisión de 400kV utilizando el ATP. (Tesis de Ingeniero Electricista). Instituto Politécnico Nacional, ESIME, México, D. F.

[5] Harper, E. G. (1999). Instalaciones y montaje electromecánico. México, D. F.: Editorial LIMUSA.

[6] Martínez, D. P. (2011). Diseño de la protección contra descargas atmosféricas en un tanque de almacenamiento de productos inflamables. (Tesis de Ingeniero Electricista). Instituto Politécnico Nacional, ESIME, México, D. F.

[7] NMX-J-549-ANCE-2005. NORMA MEXICANA. Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas – Especificaciones, Materiales Métodos de Medición.

[8] Salas, R. y Garrido, J. (2009). Diseño de un sistema externo de protección contra tormentas eléctricas para un edificio comercial aplicando la norma NMX-J-549-ANCE-2005. (Tesis de Ingeniero Electricista). Instituto Politécnico Nacional, ESIME, México, D. F.

[9] Secretaria de energía. NOM-001-SEDE-2012. NORMA OFICIAL MEXICANA. Instalaciones eléctricas (utilización). México, D. O. F. 29-11- 2012

[10]© 2012 - PROGRAMA CASA SEGURA. Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

<<http://programacasasegura.org/mx/seguridad/sistemas-de-proteccion-contra-descargas-atmosfericas/>>

ANEXO A

Análisis económico en la instalación del sistema de pararrayos.

En la estación de servicio es importante invertir en un sistema de protección ya que por sus zonas donde se almacenan, manejan o transportan sustancias explosivas o inflamables es necesario que de seguridad tanto a sus clientes como al personal de trabajo, además del equipo que se encuentre instalado en su interior. A continuación se muestra el presupuesto económico de los principales elementos que se necesitan para la instalación del Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas, considerando para cada uno los costos, la mano de obra y el proyecto de ingeniería.

REF.	Descripción completa	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
1	Pararrayos tipo dipolo de 12 cm, r= 70°, Suministro e instalación a no más de 6 metros de altura sobre el edificio a proteger.	pza.	1	\$ 4,202.26	\$ 4,202.26
2	Base de anclaje y soporte para mástil.	pza.	1	\$ 3,532.26	\$ 3,532.26
3	Cable de cobre especial pararrayos de 28 hilos calibre 4/0, Suministro e instalación a no más de 6 metros de altura sobre el edificio proteger.	m	15	\$ 329.46	\$ 4,942.00
4	Tubería conduit de 25 mm (1")	pza.	12	\$ 217.08	\$ 2,605.00
5	Cople de 1" para unión de tubería	pza.	3	\$ 862.33	\$ 2,587.00
6	Caja de conexión	pza.	1	\$ 3,029.97	\$ 3,029.97
7	Intensificador para tierra, bulto de 11.36kg. <i>Sólo si es necesario tratar la tierra para proporcionar la resistencia y resistividad para el SPT. Se recomienda hacer un estudio de resistividad.</i>	pza.	1	\$ 2,887.73	\$ 2,887.73
8	Varilla tipo COPPERWELD de 5/8" de diámetro y 3.00mts de longitud.	pza.	3	\$ 1,092.57	\$ 3,277.72
9	Conector de cobre para cable en paralelo o a 90° entubo o varilla, tubo de 3/8" (10mm) varilla 5/8" (16mm) calibre 2/0 AWG al 250kCM.	pza.	3	\$ 1,110	\$ 3,328.75
10	Registro para electrodos de puesta a tierra con tapa.	pza.	3	\$ 1,274.87	\$ 3,824.62
11	Barra de tierra de cobre considerando soportes tipo omega, aisladores taquetes, tornillos y rondanas tropicalizadas.	pza.	1	\$ 4,189.73	\$ 4,189.73
12	Conexión exotérmica tipo "TA", para calibre 4/0 derivación 4/0.	pza.	2	\$ 1,631.84	\$ 3,263.68
13	Conexión exotérmica tipo "XA", para calibre 4/0 derivación 4/0.	pza.	2	\$ 1,672.28	\$ 3,344.56
14	Proyecto de ingeniería				\$ 45,015.18
TOTAL A INVERTIR EN EL PROYECTO:					\$ 45,015.18

ANEXO B

Carta de aceptación de residencia profesional.



GRUPO LARUSU DE CHIAPAS, S.A. DE C.V.

CONSTRUCCION, COMERCIALIZACION Y SERVICIOS DE INGENIERIA

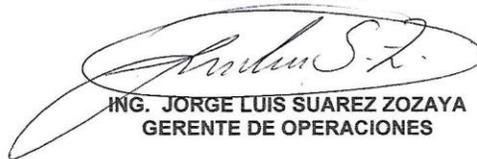
GLCJLS-0904-2018

ASUNTO: OFICIO DE ACEPTACION DE
RESIDENCIA PROFESIONAL

DR.SAMUEL ENCISO SAENZ
JEFE DEL DEPTO. DE GESTION TECNOLOGICA Y VINCULACION
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ
P R E S E N T E

Por este medio me permito comunicarle que el C. Erick González Jonapá alumno de Ingeniería Eléctrica con número de control 14270186, es aceptado por la empresa GRUPO LARUSU DE CHIAPAS, S.A. DE C.V para realizar su RESIDENCIA PROFESIONAL con el proyecto denominado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS DE UNA GASOLINERA, DE ACUERDO A LA NOM-022-STPS-2015 DE ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LOS CENTROS DE TRABAJO. Durante el periodo comprendido de Agosto-Diciembre del 2018.

ATENTAMENTE


ING. JORGE LUIS SUAREZ ZOZAYA
GERENTE DE OPERACIONES


E-MAIL: grupolarusu@outlook.es
R.F.C. GLC160909RM2
15ª SUR PONIENTE #162-B
COL. SAN FRANCISCO SABINAL
C.P. 29020 TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS.



C.c.p. Interesado

15ª SUR PONIENTE #162-B, SAN FRANCISCO SABINAL, C.P. 29020

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

