



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**RESIDENCIA PROFESIONAL
DISEÑO DE UN SISTEMA DE PARARRAYOS PARA LA ESTACIÓN
DE SERVICIO BRITISH PETROLEUM, DINAMICA DE
COMBUSTIBLES.**

RESIDENTE:

MARIA ASHLEY MATUS FUENTES

ASESOR:

ING. KARLOS VELAZQUEZ MORENO

PERIODO DE REALIZACIÓN:

AGOSTO – DICIEMBRE 2019

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS, DICIEMBRE DEL 2019.



AGRACEDIMIENTO

Le agradezco a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por apoyarme en todo momento, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación e inculcarme valores en el transcurso de mi vida, por el sacrificio y dedicación que han dado para que yo lograra terminar mis estudios a pesar de los obstáculos y dificultades, para terne una mejor calidad de vida. Pero, sobre todo por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad.

A mis hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, A Itsy por mostrarme su apoyo moral en los momentos buenos y malos, por su confianza y por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir. A Bianca por llenar mi vida de grandes momentos de alegría y amor.

A mis profesores por compartir sus conocimientos a lo largo de la preparación de la profesión, Y a mí asesor que con su experiencia, calidad humana y conocimiento me orientó, le agradezco por su paciencia, pero sobre todo le agradezco la confianza que en todo momento me ha brindado.

A la empresa GRUPO LARUSU DE CHIAPAS S.A. DE C.V. Por darme la oportunidad y confianza de formar parte de su familia de trabajadores, por el apoyo y facilidades otorgada para desarrollar el proyecto.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



RESUMEN

Este proyecto titulado “diseño de un sistema de pararrayos para la estación de servicio british petroleum, dinámica de combustibles, tiene como finalidad brindar una propuesta técnicamente viable y económica para proteger estaciones de servicios. El diseño del sistema está basado en la norma NOM-022-STPS-2015 y la norma NMX-J-549-ANCE-2005 para la protección contra tormentas eléctricas en una estación de servicio 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 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 necesaria 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.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.3 Descripción de la empresa	3
1.4 Problemas a resolver	4
1.5 Justificación.....	4
1.7 Metodología	6
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
2.1 Descargas atmosféricas	8
2.1.1 Nivel Cerámico.....	9
2.1.2 Sistema Mundial de Localización de Descargas Atmosféricas.	10
2.1.3 Descargas atmosféricas en nuestro País.	11
2.2 La formación de la Descargas atmosférica	14
2.2.1 Teorías sobre la formación de las descargas atmosféricas	14
2.2.2 Proceso de la Descarga Atmosférica.....	17
2.2.3 Valores de una descarga atmosférica.	19
2.2.4 Valores probables de corriente máxima y de pendiente máxima.	20
2.3 Consecuencias de una descarga atmosférica.....	21
2.3.1. Efectos sobre el cuerpo humano	21
2.3.2 Efectos primarios y secundarios sobre las instalaciones.	23
2.4 Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas.	25
2.4.1 Tipos de pararrayos.	26
2.4.2 Métodos de ubicación de los captadores de rayo.	31
2.4.3 Instalación de Pararrayos.....	37
2.5 Sistemas de Protección Contra Tormentas Eléctricas (SPTE).	38
2.5.1 Valoración de riesgo.....	39
2.5.2 Áreas equivalentes de captura.....	42
2.5.3 Evaluación de la necesidad de protección.....	44



2.6. Diseño del sistema externo de protección (SEPTE)	46
2.6.1 Terminales Aéreas	47
2.6.2 Conductores de bajada	48
2.6.2.1 Parámetros a considerar en el diseño.	50
2.6.3 Sistema de Puesta a Tierra.	54
2.6.3.1 Resistividad del terreno y resistividad superficial.	56
2.6.3.2 Terminales de tierra.	57
2.7 Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas (SIPTE).	59
2.7.1 Unión equipotencial.	60
2.7.2 Red interna de puesta a tierra.	60
3.-NORMATIVIDAD APLICABLE PARA ESTACIONES DE SERVICIO	61
3.1 NOM-005-ASEA-2016	61
3.2 NOM-001-SEDE-2012	63
3.2.1 Clasificación de áreas peligrosas	65
3.3 NOM-022-STPS-2015	68
4. ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS	74
4.1 Descripción de la estación de servicio a proteger.	74
4.2 Selección del pararrayos.	75
4.3 Especificaciones y costo del pararrayos.	76
4.4 Procedimiento de construcción	79
5. RESULTADOS	84
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	87
ANEXO A	88
ANEXO B	89
ANEXO C	90
ANEXO D	91
ANEXO E	92

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Existen fenómenos naturales que pueden matar personas, causar incendios y dañar aparatos electrónicos. De entre muchos fenómenos, las descargas atmosféricas han sido una inquietud para la sociedad, ya que se ha buscado mediante los avances tecnológicos la protección de las zonas con altas posibilidades de presenciar este fenómeno natural.

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

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.

En las últimas cuatro 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] ALICIA MARTÍNEZ ANTÓN Y BLANCA GIMÉNEZ VICENE en su trabajo “NECESIDAD DE INSTALACIÓN DE PARARRAYOS”. “En el presente artículo se explica que pasos hay que seguir para verificar si un edificio necesita contar con un pararrayos. Se emplean las fórmulas y tablas que proporciona el documento básico de seguir frente al riesgo causado por la acción del rayo”.

[2] MARIA MIREYA CASTILLO HERRERA, por su trabajo “SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS EN EDIFICIOS APLICANDO LA NORMA NMX-J-549” (JUNIO 2014). En este trabajo se realizó un diseño e implementación de un sistema contra descargas atmosféricas, para reducir el riesgo a daño a equipos y para brindar seguridad al personal que elabora en los edificios.

[3] LUIS CARLOS MONTAÑES BELLOSTA en su trabajo “SELECCIÓN ÓPTIMA DE PARARRAYOS”. “En este trabajo se analizó las sobretensiones que pueden aparecer en las redes eléctricas y su clasificación, siendo generalmente las descargas atmosféricas las más severas. Para proteger las líneas eléctricas contra descargas directas de rayos pueden instalarse cables de guarda, cuyo grado de protección es también estudiado”.

[4] 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

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 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

1.4 Problemas a resolver

Se elabora este proyecto para brindar una propuesta técnicamente viable y económica para proteger estaciones de servicios contra las descargas atmosféricas; con el uso de pararrayos y sistemas de puesta a tierra, con el propósito de aumentar la confiabilidad eléctrica, garantizando la integridad del personal operativo, de las instalaciones, de todas aquellas personas que puedan estar en la estación.

1.5 Justificación

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

¿Por qué es importante un sistema de pararrayos?

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. Además de evitar los daños que pueda provocar un rayo, estos aparatos cumplen otra función básica: atraen los rayos y neutralizan su potencia protegiendo el inmueble de su impacto eléctrico.

Podemos definir los rayos como descargas eléctricas estáticas que se producen en una tormenta eléctrica que impacta sobre la superficie con gran potencia. En caso de alcanzar a una persona es más que probable que cause su muerte. La propia naturaleza de la tormenta eléctrica hace que los rayos caigan en zonas próximas o cercanas, por ello con frecuencia impactan contra construcciones verticales altas o en árboles.

Los pararrayos atraen estas descargas hacia ellos para evitar que impacten directamente sobre un edificio. Estos sistemas tratan de modificar el camino de los rayos hacia sus estructuras para neutralizar su potencia y evitar que causen daños. Precisamente por todas estas cuestiones, los pararrayos deben colocarse en las zonas altas y cubiertas. 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.

¿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.

¿Dónde se requiere utilizar 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:

- Edificios o zonas abiertas con concurrencia de público.
- Edificaciones de gran altura y en general, construcciones elevadas.
- Construcciones y depósitos en los que se manipulen y/o contengan materiales peligrosos (explosivos, inflamables, tóxicos).
- Edificio que contengan equipos ó documentos especiales vulnerables ó valiosos.
- En general en estructuras utilizadas para fines comerciales, industriales, agrícolas, administrativos ó residenciales.

Ventajas de contar con un sistema de pararrayos.

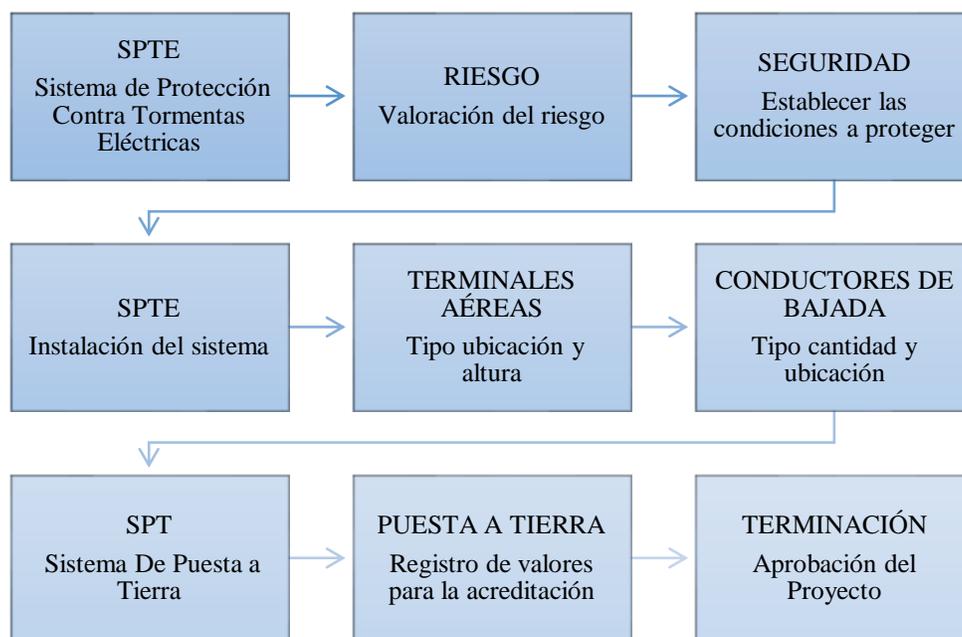
A través de un sistema de pararrayos bien diseñado y calculado, lo que nos dará como beneficios:

- 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.

1.6 Objetivo

Diseñar un sistema de pararrayos para una estación de servicio, que cumpla con los requerimientos establecidos en la NOM-022-STPS-2015 de Electricidad Estática en los Centros de Trabajo. Para aumentar la confiabilidad eléctrica, garantizando la integridad del personal y así mismo de las instalaciones.

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” Sistema de protección contra tormentas eléctricas- especificaciones, materiales y métodos de medición; 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

Una descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

La descarga se forma en nubes de tormenta del tipo cumulonimbos. 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.

Hay que indicar que todas las nubes están predispuestas 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 1**. 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

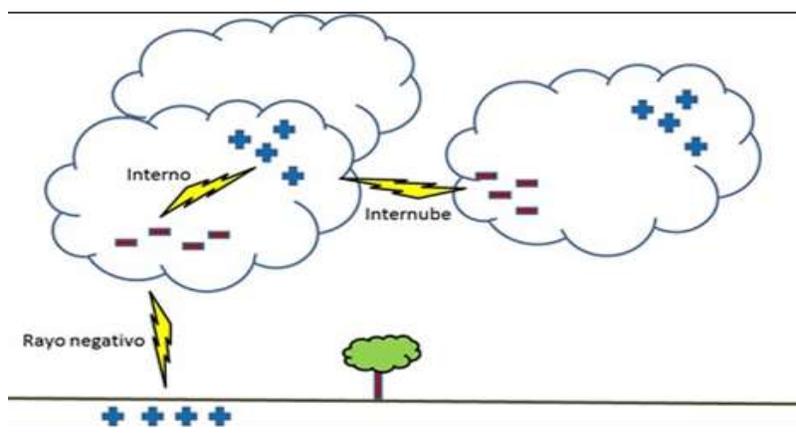


Figura 1.- Desarrollo de una descarga eléctrica.

Casi todas las descargas de rayos, se inician en el interior de las nubes en su primera fase de desarrollo, trasportando en función de su trayectoria en:

- Cargas negativas hacia la nube cuando el trazado es ascendentes, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo Cumulo-nimbos convectivas que usualmente miden de 3 a más de 50Km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50M por microsegundos con descanso de 50 microsegundos.

- Cargas positivas a tierra cuando el trazado es descendente, conocido popularmente como rayo negativo. En su trayectoria, el rayo transporta gran cantidad de energía que se transforma en el momento y punto del impacto, en forma de flujos de corrientes eléctricas de muy alta tensión. Como término de valores medios, se tienen registrados en los últimos años, valores de 50.000 Amperios. Los rayos pueden descargar intensidades de 5.000 amperios, a valores máximos superiores a los 450.000 Amperios en una sola descarga.
- La trayectoria del rayo puede ser caótica, siempre predominarán los ambientes eléctricos cargados, aunque los estudios del campo eléctrico atmosférico en tierra determinan que la distribución de cargas en tierra no es estática, sino dinámica.

Al formarse y generar aleatoriamente chispas en diferentes puntos geográficos dentro de la trayectoria de la sombra eléctrica, la intensidad y situación del campo eléctrico cambia radicalmente, pudiendo generar impactos de rayos laterales, con trayectorias laterales, de más de 17 Km. entre los dos puntos de contacto.

2.1.1 Nivel Ceráunico

El nivel ceráunico está definido como el número de días del año en los cuales se escucha, por lo menos un trueno durante esas veinticuatro horas en el lugar de observación. El nivel ceráunico es una indicación de la actividad regional de las descargas atmosféricas basada en cantidades promedio derivadas de los niveles de observación históricamente disponible, suelen llevar a mapas isoceráunicos, es decir, a mapas con curvas de igual nivel ceráunico, muestran la densidad de descarga a tierra en el país específicamente entre 20 tormentas con descargas al año.

A pesar que los mapas no dan una indicación de las intensidades, duración, extensión, pero sí un número de tormentas ocurridas, constituyendo datos relevantes de información registrada. Los relámpagos en algunos sistemas dependen de la ubicación topográfica para que predomine la tormenta.

La información necesaria para construir o diseñar un mapa ceráunico, procede de los datos estadísticos de los sistemas de teledetección de rayos que utilizan los institutos nacionales de meteorología (INM), como medio de predicción seguimiento y control de la actividad y densidad de rayos del país. Los datos acumulados cada año por los INM, son procesados y dan como resultado un valor estadístico que ofrecen públicamente, cambian tan rápido su valor según cambia el comportamiento de las tormentas y su trayectoria. Datos más puntuales sobre el nivel isoceráunico de diferentes lugares se puede encontrar en los mapas de regiones.

En la **Figura 2**. Se muestra el mapa isoceráunico del mundo y se puede tener una idea más clara sobre la actividad de las descargas atmosféricas a nivel mundial.

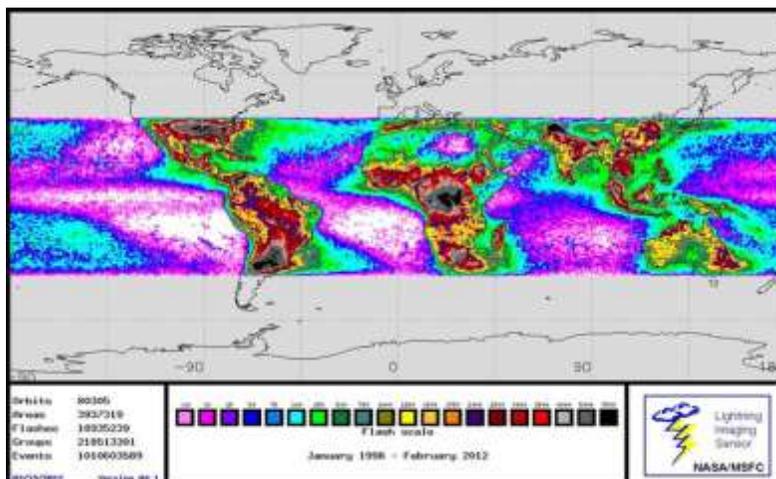


Figura 2.- Mapa isoceráunico del mundo

2.1.2 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. Tiene como sede la Universidad de Washington en Estados Unidos de América.

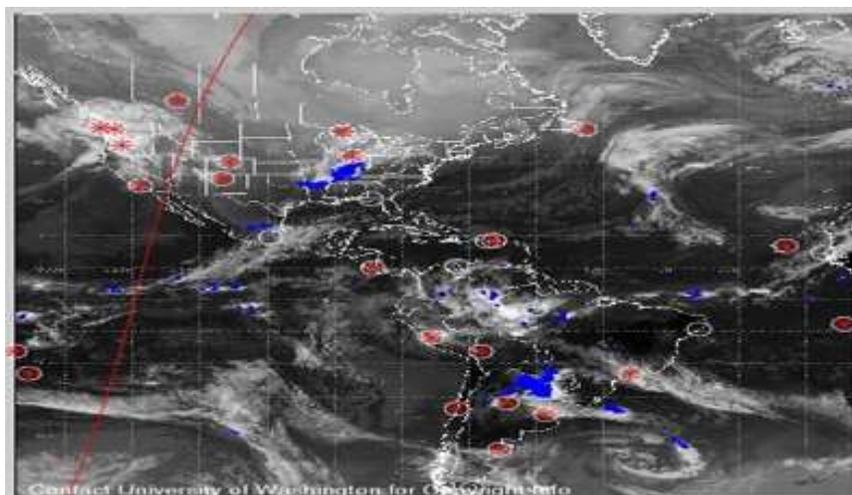


Figura 3. Visualización de la actividad ceráunico en el continente Americano.

En la **Figura 3**. Se puede distinguir la actividad ceráunico 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.

2.1.3 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 ceráunico (N_k ó T_d), sea quizá el parámetro más importante de la investigación sobre los rayos, como se ha comentado gran parte de estos estudios se basa en la estadística de su manifestación. El también mencionado índice ceráunico, 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 ceráunico para generar un Mapa Isoceráunico, **Figura 4**.

En nuestro país, los mapas isoceráunicos 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.

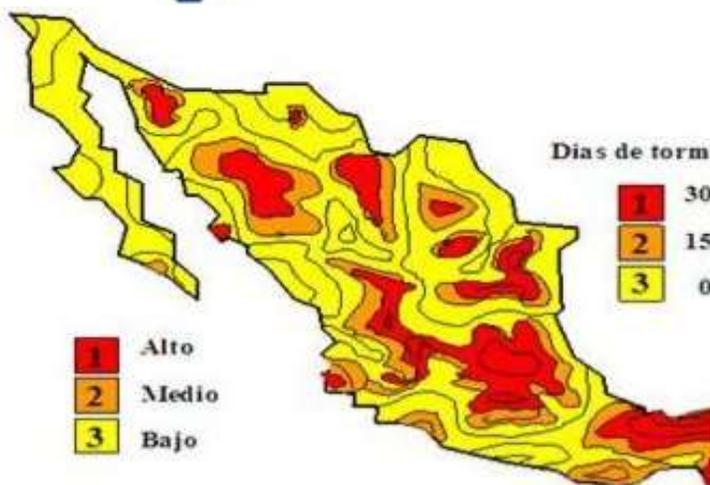


Figura 4.- Representación del nivel cerámico de nuestro país.

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 cerámico 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 cerámico, mapas isocerámicos 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).

<i>Relación propuesta</i>	<i>Referencia</i>	<i>Región</i>
$0.04 \times (T_d) 1.25$	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
$0.036 \times (T_d) 1.3$	Kolokolov/Paviova	Rusia
$0.1 \times T_d$	Aiya	India
$0.15 \times T_d$	-	Nueva Guinea
$0.17 \times T_d$	Horn/Ramsey 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:

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

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

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

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

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

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

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.

2.2 La formación de la Descargas atmosférica

Las descargas atmosféricas se presentan cuando se forman grandes concentraciones de carga eléctrica en las capas de la atmósfera inmediatamente inferiores a la estratosfera (alturas entre 5 y 12Km). Al aumentar la carga se forman potenciales de hasta 300 MV entre nubes y tierra.

La descarga se forma en nubes de tormenta del tipo cumulonimbus. 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.

La carga eléctrica se forma al separar estas fuertes corrientes de aire, las partículas de agua y hielo en partículas ionizadas. La carga se concentra en un disco de un diámetro de 10 Km. y una altura aproximada de 5 km.

Esta carga es en la mayoría de los casos predominantemente negativa. A medida que se empieza a incrementar la carga y el voltaje en las cercanías de las nubes cargadas, se empieza a rebasar el gradiente crítico, (30 kV en aire seco, 10 kV en las condiciones de presión y presencia de gotas de agua existentes en las nubes). Se empieza a presentar ionización del aire y por lo tanto, se van formando caminos para la conducción de la carga hacia el punto de potencial cero que es la tierra

2.2.1 Teorías sobre la formación de las descargas atmosféricas

Existen algunas teorías sobre la formación de las descargas atmosféricas y experimentos para estudiar sus efectos, como:

- **Teoría de Simpson**

Simpson manifestó que la formación de cargas eléctricas en las nubes se debe a las corrientes de aire que se encuentran en su interior, las corrientes de aire ascendentes transportan vapor húmedo del mar o de la superficie terrestre, este vapor al encontrarse a determinada altura y bajo condiciones atmosféricas propicias se condensa transformándose en gotas de agua cuando se inicia la lluvia en su caída.

Las gotas encuentran corrientes de aire ascendentes que provocan el rompimiento de las mismas, formándose gotas más pequeñas, estas gotas por un procedimiento parecido vuelven a fraccionarse en tamaños menores, al ocurrir el rompimiento de las gotas, se desprenden iones negativos; generando así cargas eléctricas que se dispersan en la atmósfera y al mismo tiempo son llevados por las corrientes de aire ascendentes a la parte superior en la nube, en tanto la parte inferior de la nube se carga en forma positiva.

- **Teoría de Elster y Geitel**

Esta teoría se fundamenta en estudios realizados sobre una gota grande de lluvia a la vez del campo eléctrico de la misma, cuyo gradiente superficial es de 100 volts por metro de altura; debido a la acción de este campo, la gota se polariza en la parte inferior por una gota positiva.

La gota cargada eléctricamente en su caída, se encuentran con corrientes de aire ascendentes que le producen una disminución de tamaño, continuando su caída hacia la tierra, pudiendo así encontrar gotas de mayor tamaño, desequilibrándose eléctricamente. El contacto de gotas de diferentes tamaños se repetirá frecuentemente, originándose este valor hasta llegar a un valor crítico, que produce la descarga o rayo

Este proceso descrito en 1985, permite explicar la carga positiva de la lluvia, pero no la formación de los campos eléctricos de las tormentas.

- **Teoría de Wilson**

Según C.T. Wilson una gota polarizada capta en su caída más iones negativos que positivos, cargándose por esta razón en medida creciente con electricidad negativa. En la atmosfera normalmente existe una gran cantidad de iones negativos y positivos que se mueven en diferentes direcciones con una velocidad promedio de un centímetro por segundo, bajo la acción de un campo eléctrico de un volt por centímetro (experimento de Wilson).

La existencia de iones en el aire los estima de 1000 positivos y 800 negativos por centímetro cubico, Juan Jagsich nos dice que en Pilar, cerca de Córdoba Argentina, se registraron en término medio 2,272 iones por centímetro cubico, los cuales 1,147 fueron de carga positiva y 1,125 de carga negativa.

Wilson especifica también que para estudiar el origen de las descargas atmosféricas en las nubes, es necesario considerar el rompimiento de las gotas de una tormenta; por consiguiente, una separación de su carga eléctrica respectiva en el proceso de lluvia, las gotas hacen contacto eléctricos dando origen a que aumente la ionización de la atmosfera, facilitando la formación de trayectoria del canal del rayo para descargar hacia la tierra o hacia la nube.

- **Teoría de sir Basil Schonlan**

Según este científico la descarga atmosférica está vinculada con las nubes. Cuando una típica nube de tormenta comienza a formarse una masa de aire cálido asciende, esta masa transporta una considerable cantidad de humedad, en forma de vapor de agua.

A medida que la masa se eleva, se va enfriando; entonces puede retener menos vapor de agua que cuando estaba más caliente. El vapor sobrante se condensa en diminutas gotas que forman nubes.

El agua generalmente se congela a cero grados centígrados, sin embargo, bajo ciertas condiciones permanece líquida a temperatura mucho más baja aun a -4 grados centígrados, en este estado se dice que el agua está sobre enfriada. Las gotas se forman en las nubes de tormenta, se sobre enfrían, elevándose mucho más arriba que el nivel en que la atmosfera se encuentra a cero grados centígrados.

Finalmente, alcanza una altura tal, en que la temperatura desciende a los -40 grados centígrados, entonces las gotas se transforman en pequeños trozos de hielo. Algunas de las gotas al congelarse se unen a otras de esta manera forman pequeñas piedras de granizo que comienzan a caer a causa de su peso; pero continuamente chocan contra las gotas sobre enfriadas que ascienden, el agua de cada gota se congela sobre la piedra de granizo con la que choca, y gradualmente, estas piedras aumentan de tamaño.

Al chocar contra cada gota, la piedra de granizo adquiere una carga negativa, sir Brasil estaba convencido de que millones de estos choques entre las gotas de agua y las piedras de granizo producen en la nube la carga eléctrica que origina el rayo. Al mismo tiempo, una pequeña astilla de hielo se desprende de la gota de agua cuando esta se congela, la astilla lleva una carga positiva, las corrientes de aire ascendentes transportan estas astillas y sus cargas positivas a las partes más elevadas de la nube.

A medida que las astillas con cargas positivas se elevan en la nube, las piedras de granizo cargadas negativamente caen hacia la base, que es más caliente, entonces estas se derriten para transformarse en grandes gotas de agua. Este proceso puede continuar por una hora, durante ese tiempo toda la nube es como un inmenso generador. Mientras se ha estado produciendo el proceso principal de carga, un efecto similar pero en menor escala se ha producido en la base de la nube, de bajo el polo negativo ahí es donde ocurre el disparo que desata el rayo.

La descarga salta de este receptáculo de electricidad positiva al polo negativo, situado un poco más arriba, entonces toda la carga positiva inferior, así como parte de la negativa queda neutralizada,

Por la descendiente el resto de la carga negativa, que continua en su trayectoria hacia abajo, atraída por una carga positiva en la superficie de la tierra.

La descarga no salta en una enorme chispa, si no que se orienta guiada por variaciones locales en el campo eléctrico que tiene por delante. Puede formar ramas, que se bifurcan hacia uno y otro lado.

2.2.2 Proceso de la Descarga Atmosférica

Ya se ha analizado la formación y estructura de la nube de tormenta, también la inducción electrostática del terreno; así, la interacción de todos los factores formarán la tormenta eléctrica y se puede presentar el proceso de la descarga atmosférica y formación del rayo. En este proceso se identifican varias etapas.

- a) **Descarga preliminar (Break down preliminary):** Se inicia con la configuración de dipolo de la nube y el aumento de potencial entre esta y la tierra, generando un campo eléctrico de alta tensión. A partir de este momento puede desencadenarse una descarga intra-nube o nube a tierra, percibiéndose como una descarga luminosa.
- b) **Líder escalonado o “guía” (Stepper leader):** Un líder es un canal o núcleo de plasma, es decir, gas con partículas cargadas (iones libres). Se desarrolla desde la nube a tierra de manera errática con saltos de decenas de metros. Al aumentar la tensión, también se ioniza el aire positivamente, que es atraído por la nube negativa y comienza a moverse forman una corriente ascendente. Este viento prepara una guía o corredor que será la ruta de descarga.

El líder del rayo está compuesto por un núcleo de plasma altamente conductivo de intensidad estimada entre 100 y 1000 [A], este canal por el que se transmite la carga se encuentra rodeado de una envoltura de corona de algunos centímetros de diámetro, cuyo radio está entre 0.01 y 0.5 [m]. La alta temperatura del canal de plasma alcanza los 30,000 [°C], estas magnitudes evitan que decaiga y se disipe al estar inmerso en un campo eléctrico de ambiente débil.

- c) **Líder ascendente (Upward leader):** Cuando la guía se acerca a la tierra se produce el efecto punta o líder y efecto corona desde el suelo o estructuras construidas por el hombre. Si el campo eléctrico llega a una magnitud de 500 a 1000 [kV/m], las cargas adquirirán movilidad y se genera desde la tierra el trazador ascendente. Esto marcará la trayectoria de los caminos ionizados ó trazadores.
- d) **Ruptura (Attachment):** El aire constantemente ionizado, se vuelve el medio para la transferencia de cargas y encuentro entre la punta del trazador ascendente y la guía escalonada, distanciados entre 50 y 100 [m] se establece el campo eléctrico correspondiente a la ruptura dieléctrica del aire, e inicia el camino conductor de descarga, generando el rayo y así las cargas fluyen bruscamente hacia al suelo. Su manifestación luminosa y audible se trata del relámpago y el trueno respectivamente.

- e) **Descarga de retorno (Return Stoke):** La transferencia de la carga almacenada en el canal de la guía escalonada y parte de la carga de la nube, lleva a la primera descarga de retorno, que se propaga de forma continua hacia la nube. Cuando la descarga de retorno se detiene después del primer rayo podría terminarse la actividad eléctrica y esto se conoce como “rayo de un único impacto” ó “rayo de descarga única”. La intensidad de la descarga es del orden de 30 [kA] y en este proceso se transfiere a tierra la carga de la nube.
- f) **Dardo líder (Dart leader):** Una vez ocurrido el rayo, si existe más carga en la nube, esta se reconstituye y después de la primera descarga de retorno, tras un breve lapso de tiempo, se produce una segunda descarga de poca intensidad que reioniza el camino principal establecido por el primer retorno. Esta descarga dardo se realiza de forma continua, sin ramificaciones y a gran velocidad desde la nube hasta llegar cerca del suelo.
- g) **Segundo retorno y retornos sucesivos (Multiple stroke):** Si este proceso termodinámico continúa activo deja la posibilidad a una segunda descarga (segundo retorno) ya de menor intensidad, que seguramente impactará en un punto distinto; del mismo modo, este proceso puede repetirse varias veces en un corto periodo de tiempo, pues los rayos cuentan con una guía ya ionizada. Cuando en la nube ya no hay suficiente carga, cesan las descargas de retorno y se alcanza un equilibrio natural.

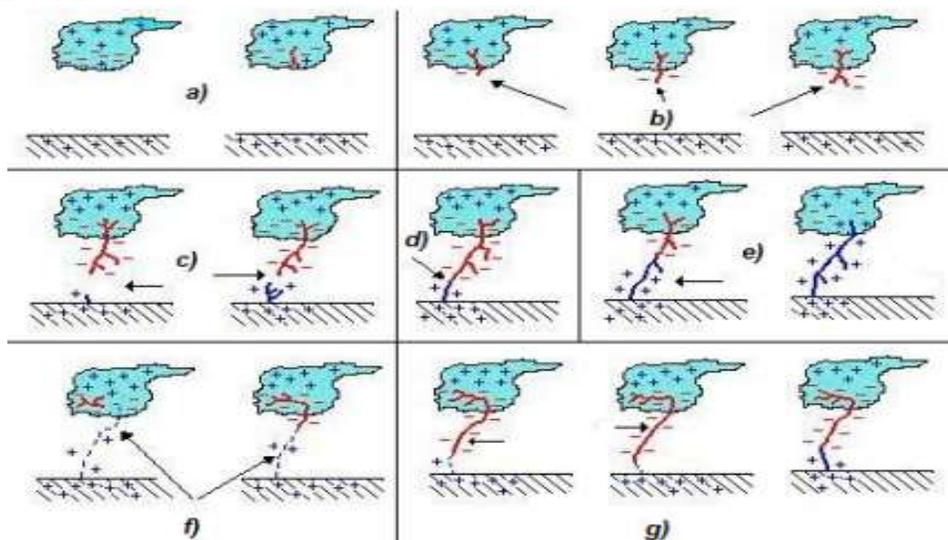


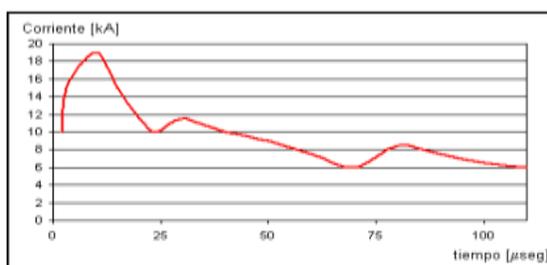
Figura 5.- Proceso de la descarga atmosférica y formación del rayo.

- (a) Distribución de cargas y descarga preliminar.
- (b) Guía escalonada de aire ionizado.
- (c) Efecto punta, líder ascendente, y trazadores.
- (d) Ruptura, encuentro de trazadores.
- (e) Primer retorno.
- (f) Dardo líder, camino ionizado.
- (g) Guía rápida y retornos sucesivos.

2.2.3 Valores de una descarga atmosférica.

Los valores que se pueden llegar a obtener de una descarga se pueden observar en la figura 2.3.3, 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

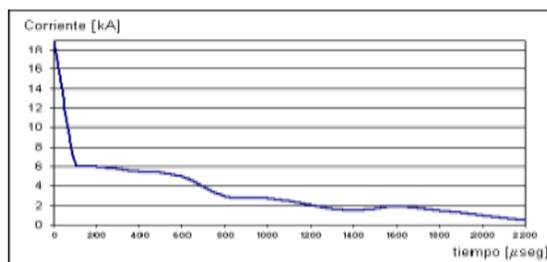


Figura 6.- Primer impulso de una descarga atmosférica (rayo).

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 , $Q_{S1} = \int I \text{ dt} \approx 7 \text{ C}$
- Energía específica (entre 0 y 1300 s), $W/R = \int I_2 \text{ dt} \approx 41.500 \text{ W}/\Omega$

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.

2.2.4 Valores 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.

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 Consecuencias de una descarga atmosférica

No hay duda acerca del peligro que implican los rayos y sus efectos asociados. Incendios, lesiones o pérdida de la vida, daños y destrucción a propiedades, pérdidas significativas de tiempo y de dinero por salidas de operación, debidas a daños en los equipos, todo esto convierte a los rayos en una seria amenaza. En tanto que los efectos directos de un rayo son obvios, los efectos secundarios pueden resultar devastadores. Esto resulta especialmente cierto para líneas de energía e instalaciones con equipo electrónico que es muy sensible.

2.3.1. Efectos sobre el cuerpo humano

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

Entre los efectos físicos podemos destacar: quemaduras en la piel, rotura del tímpano, lesiones en la retina, caída al suelo por onda expansiva, caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera, lesiones pulmonares y lesiones óseas, estrés pos-traumático, muerte por paro cardiaco o paro respiratorio, lesiones cerebrales.

Existen diferentes formas en que los humanos pueden morir o ser lesionados por un rayo:

1. Por la corriente de un impacto directo
2. Por la corriente de un líder ascendente no conectado cuando existe un impacto de rayo cercano.
3. Por un "rayo lateral" o un arco superficial en la tierra en contacto con un objeto directamente impactado. Un rayo lateral se define como aquel que se desprende de objetos que se encuentran a un potencial elevado por efecto del rayo, que puede saltar entre estos objetos y una persona o cuerpo en contacto con tierra.

Un arco superficial en la tierra se da cuando la corriente de rayo logra ionizar la superficie del terreno. En la **Figura 8 A y B** además de ver el impacto directo de un rayo podemos apreciar los líderes ascendentes, mientras que en la C y D vemos un arco superficial en la tierra y un "side flash" o rayo lateral respectivamente.

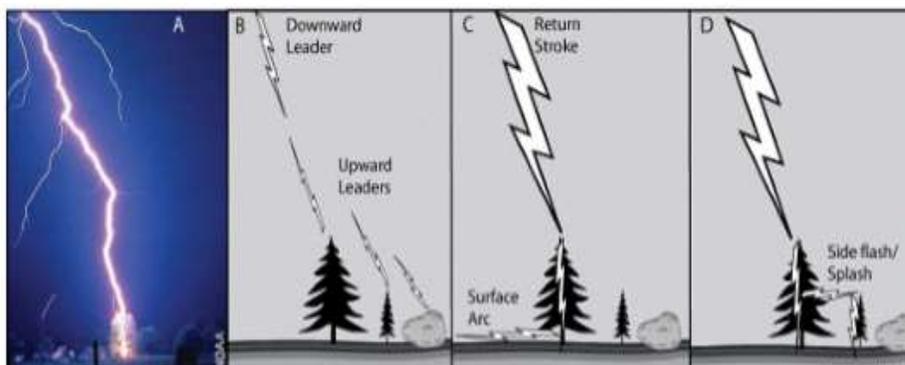


Figura 7. A) Foto real; B) líder; C) Rayo de retorno y arco superficial; D) Rayo lateral.

4. Por una tensión de paso (UP) producida por la circulación de la corriente de rayo en la tierra. La tensión de paso definida como la que se presenta entre los dos pies de una persona.

5. Por la tensión de contacto (UC) que se produce cuando se está en contacto con un objeto metálico tal como un cable que se ha elevado en tensión debido a un impacto directo o rayo cercano.

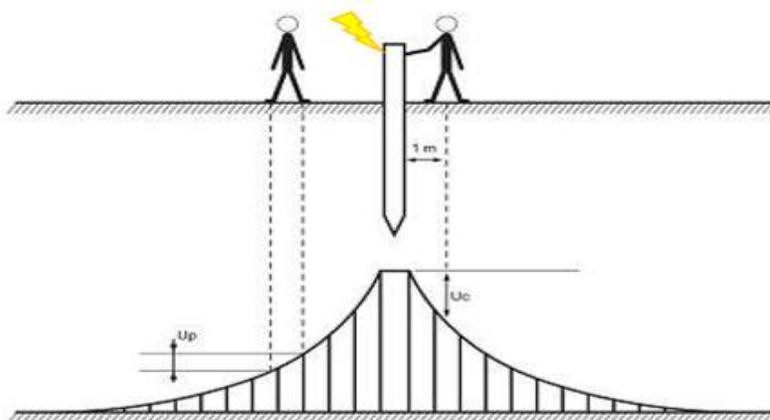


Figura 8.-Tensiones de paso y tensión de contacto.

6. Por las esquirlas que se producen en una edificación que ha sido impactada por un rayo, o por caerse de un caballo que ha sido electrocutado por un rayo.

7. Por las quemaduras o la inhalación de humo que se producen en incendios ocasionados por rayos.

8. Por las explosiones por rayo que ocurren, por ejemplo, en fábricas o minas de carbón bajo tierra.

2.3.2 Efectos primarios y secundarios sobre las instalaciones.

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello, son causa de interferencias en sistemas electrónicos. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se requiere de las técnicas para señales en altas frecuencias.

Los efectos directos de un rayo son la destrucción física causada por el impacto de los que pueden resultar incendios. Cuando un impacto directo golpea una instalación donde hay materiales combustibles, pueden estar expuestos al rayo, al canal del rayo o al efecto de calentamiento del rayo, produciéndose importantes incendios.

Cuando cae un rayo en una instalación siempre buscará el camino a tierra de más baja impedancia y por él circulará hasta tierra. Si el conductor tiene algún equipo eléctrico conectado a un equipo y es atravesado por esa corriente, muy probablemente será destruido. Si bien la caída directa del rayo es la más devastadora, también es la más improbable.

Los efectos secundarios de un impacto de rayo directo o cercano a una instalación incluyen:

La carga electrostática: La célula de tormenta induce una carga estática en cualquier estructura inmersa en la tormenta. Esta carga estática estará relacionada con la carga de la célula de la tormenta. Por esto se inducirá una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a tierra que será un posible causante de interferencias. Como consecuencia de la carga electrostática se producen los arcos secundarios que es una de las interferencias más frecuentes.

Los pulsos electromagnéticos: Los pulsos electromagnéticos, son el resultado de los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente, a través del canal de descarga del rayo. Después de que se establece el canal de descarga del rayo entre la nube y la tierra, llega a formarse un camino tan conductivo como un conductor eléctrico. La corriente de neutralización comienza a fluir rápidamente y produce un campo magnético en relación a la misma.

Los pulsos electrostáticos: Los transitorios atmosféricos o pulsos electrostáticos, son el resultado directo de la variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica. Cualquier conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura, sobre la superficie de la tierra.

Por ejemplo, una línea de distribución o telefónica aérea, a una altura promedio de 10 metros sobre la tierra, en un campo electrostático medio, durante una tormenta eléctrica, se cargará con un potencial de entre 100 kV y 300 kV con respecto a la tierra.

Las corrientes de tierra: La corriente transitoria de tierra es el resultado directo del proceso de neutralización que sigue a un impacto de rayo. El proceso de neutralización, es consumado por el movimiento de la carga a lo largo o cerca de la superficie de la tierra, desde el punto donde se induce la carga, hasta el punto donde termina el rayo. Cualquier conductor enterrado o cercano a esa carga, proveerá un camino más conductivo desde el punto donde se inicia, al punto donde termina el rayo.

Esto induce un voltaje en relación con la carga, que se maneja en esos conductores, lo cual otra vez está relacionado con la cercanía a donde el rayo impactó. A este voltaje inducido se le llama "corriente transitoria de tierra" y aparece en alambres conductores, tuberías y otras formas de conductores. Aunque el proceso de descarga es muy rápido (20 microsegundos) y la relación de crecimiento al pico es tan pequeña como 50 nanosegundos, el voltaje inducido será muy alto.

La terminación de un rayo de retorno en la tierra puede causar los efectos siguientes:

- ✓ Puede causar arcos a través de la tierra a tuberías de gas adyacentes, cables o sistemas de tierra.
- ✓ La corriente de sobrecarga, puede correr por la tierra paralelo al sistema de tierras electrónico existente, lo cual originará una distribución de elevación de potencial de tierra no uniforme en el sistema de tierra.

Sobretensiones transitorias: Se produce como consecuencia de los anteriores y pueden causar graves daños en los equipos o sistemas si no están convenientemente protegidos. La carga electrostática (y consecuentes arcos secundarios) es lo más común.

Debemos tener en cuenta que en un radio de unos 1,5 km desde el punto de impacto de un rayo, las instalaciones electrónicas pueden ser perturbadas y en ocasiones destruidas.

Las formas en que se acoplan las interferencias producidas por el rayo son:

- ✓ **Acoplamiento resistivo:** al caer un rayo sobre una construcción o sobre la tierra, se produce una elevación del potencial eléctrico que afecta a las tuberías y a los cables enterrados y viajan a través de ellas hasta penetrar en las edificaciones. Especial riesgo corren, como es de suponer, los cables y tuberías aéreas. Así, un rayo es capaz de inducir corriente de 1,5 kA y 5kV en cables subterráneos, y de 3 kA y 6 kV en cables aéreos.
- ✓ **Acoplamiento inductivo:** Las enormes corrientes del rayo al caer a tierra mediante descargadores establecen un camino que genera un campo electromagnético que induce a otros conductores, de fuerza principalmente por que no están apantallados, voltajes destructivos de varios KV.

- **Acoplamiento capacitivo:** Debido a la naturaleza de alta frecuencia de los rayos se acopla capacitivamente entre arrollamientos de alta a baja tensión (transformadores). Provocando fallas en las fuentes de equipos electrónicos que son más sensibles y débiles.

Los efectos secundarios no siempre son fácilmente identificados como la causa o el mecanismo del rayo. La protección convencional o protección primaria no influirá ni reducirá ninguno de los efectos secundarios, sin embargo aumenta el riesgo de un evento. Las puntas pararrayos o terminales aéreas atraen el rayo y fortalecen una terminación del impacto muy cerca de la zona de influencia, causando interferencias con los equipos existentes.

Además, la tendencia hacia la microelectrónica, trae como consecuencia que los sistemas electrónicos sean más sensibles a los fenómenos transitorios.

2.4 Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas.

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.

2.4.1 Tipos 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.

En la actualidad existen diversos tipos de pararrayos cada uno con sus características propias, como se describe a continuación.

- **Pararrayos tipo Franklin.**

Es conocido como el primer pararrayos, está compuesto por una barra de hierro coronada con una punta de cobre o de platino colocada en la parte más alta de la estructura a proteger, la barra está unida mediante un cable conectado a tierra.

El principio de protección de este pararrayos es el de proteger una zona, la cual es igual al radio de la altura del pararrayos, esta altura se toma desde el nivel del suelo hasta la punta.

Su principio de funcionamiento consiste en que durante la tormenta se generan campos eléctricos de alta tensión entre nube y tierra, estos campos producen cargas eléctricas, las cuales se concentran en las puntas más predominantes de este pararrayos, alrededor de la punta o electrodo aparece una ionización natural llamado efecto corona, resultado de la transferencia de energía.

Este primer pararrayos es el mostrado en la **Figura 9**; este fenómeno es el principio de excitación para poder trazar un canal conductor que facilitará la descarga del rayo.



Figura 9.- Pararrayos tipo Franklin.

- **Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC).**

Una de la tecnologías desarrolladas a finales de los ochenta fue la de pararrayos con dispositivos que emitían un trazador ascendente, llamándolos pararrayos con dispositivo de cebado o PDC, mostrado en la **Figura 10**.

Este cuenta con un dispositivo de cebado, el cual genera un campo eléctrico artificial capaz de generar un trazador ascendente que es lanzado al exterior en busca de la descarga eléctrica atmosférica para atraerlo y derivarlo a tierra de manera segura.

Las principales características del PDC, se citan a continuación:

- ✓ Eje central y conjunto deflector fabricados en acero inoxidable.
- ✓ Nivel de protección: alrededor de 107 m su radio.
- ✓ Garantía de continuidad eléctrica. No ofrece resistencia al paso de la descarga.
- ✓ Conserva todas sus propiedades técnicas iniciales después de cada descarga.
- ✓ Al no incorporar ningún elemento electrónico no es fundible.
- ✓ No precisa de fuente de alimentación externa.

Los pararrayos PDC a su vez se subdividen en los siguientes:

- ✓ Pararrayos Piezoeléctricos.
- ✓ Pararrayos Electrónicos
- ✓ Pararrayos PDC puros o mecánicos.



Figura 10.- Pararrayos tipo CTS

- **Pararrayos piezoeléctricos.**

Estos pararrayos utilizan fuentes exteriores para producir el campo eléctrico, estas fuentes pueden ser paneles solares, baterías o cristales de cuarzo; el único inconveniente radica en que al colapsar la fuente exterior el pararrayos piezoeléctrico deja de activarse y por consiguiente deja de funcionar.

- **Pararrayos PDC puros o mecánicos.**

Su dispositivo de cebado es forjado a través de las propias formas geométricas de su construcción de acero y la alimentación eléctrica proviene de las propias cargas eléctricas que generan las nubes.

- **Pararrayos PDC-E** Este tipo de pararrayos es el resultado de la experiencia acumulada en el diseño y utilización de dispositivos de cebado como se muestra en la **Figura 11**, ya que la emisión ascendente de partículas ionizantes producidas por este pararrayos mediante un dispositivo de cebado le permite capturar la descarga eléctrica atmosférica con mayor rapidez y a una mayor altura, con lo que es posible aumentar el radio de protección.



Figura 11.- Pararrayos PDC-E

- **Pararrayos electrónicos.**

El dispositivo de cebado está compuesto por elementos electrónicos, además de que no necesita de una fuente exterior para activar su funcionamiento, ya que toma la alimentación de las cargas eléctricas de la propia nube. El único inconveniente radica en que cuando se produzca la descarga eléctrica atmosférica sobre este, esta deteriore el equipo electrónico.

- **Pararrayos desionizadores de carga electrostática (CTS).**

Este tipo de pararrayos incorpora un sistema de transferencia de carga, y se caracteriza por facilitar la transferencia de la carga electrostática entre la nube y tierra antes de que la descarga atmosférica se complete, esto se logra anulando el fenómeno de ionización o efecto corona de la tierra. El cabezal de este pararrayos está constituido por un par de electrodos de aluminio separados por un aislante dieléctrico, todos estos elementos soportados por un pequeño mástil de acero inoxidable.

- **Pararrayos stream.**

A diferencia del pararrayos PDC-E, el pararrayos stream contiene un dispositivo de cebado de última generación, que reduce el tiempo de cebado, con esta reducción de cebado se obtiene un aumento en la velocidad y efectividad en la captura de la descarga eléctrica atmosférica, por consecuencia su radio de protección se amplía

Su funcionamiento es activado cuando una tormenta eléctrica aumenta la intensidad del campo eléctrico que se forma entre nube-tierra, cuando esto sucede actúa el pararrayos stream acumulando la carga que se produce antes de la descarga atmosférica.

Esta energía es liberada en forma de impulsos de alta tensión que ioniza el aire que se encuentra alrededor del pararrayos, de esta manera se crea un trazador que dirige la descarga hacia el pararrayos.

Este dispositivo de cebado, es uno de los más eficientes que se encuentra hoy en día, ya que como se ha explicado el dispositivo de cebado produce descargas que ionizan el aire para la captura de la descarga, pero a diferencia de los demás dispositivos, este solo actúa en la presencia de una descarga atmosférica y no hace descargas en falso, en resumen actúa solo cuando el impacto de la descarga es directo.



Figura 12.- Pararrayos stream.

- **Punta 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 10). 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.
- ✓ Ángulo de protección substancial: 71° .
- ✓ Corriente máxima: 30 000 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 13. - Pararrayos tipo dipolo.

Los tipos de pararrayos que se presentan en este capítulo forman parte de las instalaciones eléctricas de otros países como Estados Unidos y Francia para la protección de las personas y sus inmuebles. Sin embargo, el recomendado por la norma NMX-549-ANCE para un sistema de protección en México contra descargas atmosféricas es el de jaula de Faraday y la punta de Franklin.

2.4.2 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:

$$r_s = K_s I^c \quad (1)$$

Dónde:

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 6, (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 6.- 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.

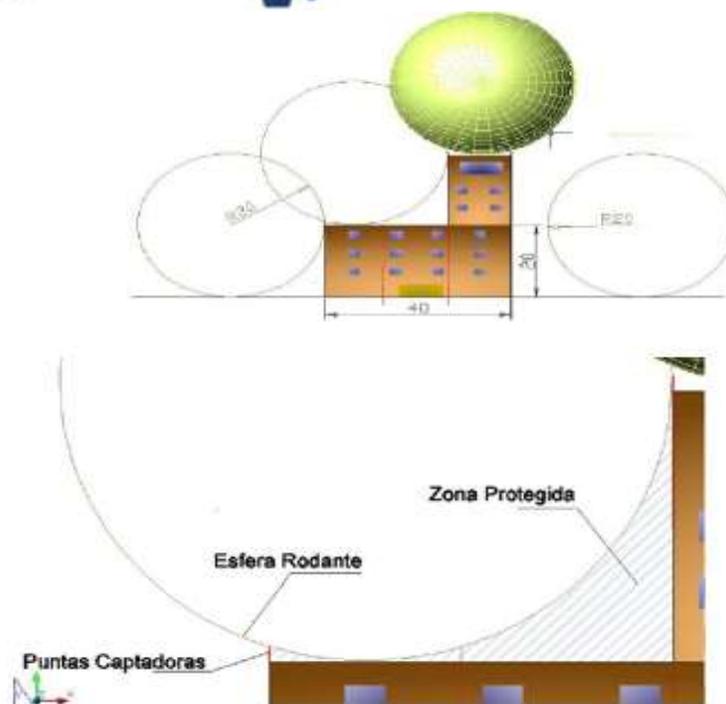


Figura 14.- Utilización y área a proteger del método de la Esfera Rodante.

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.

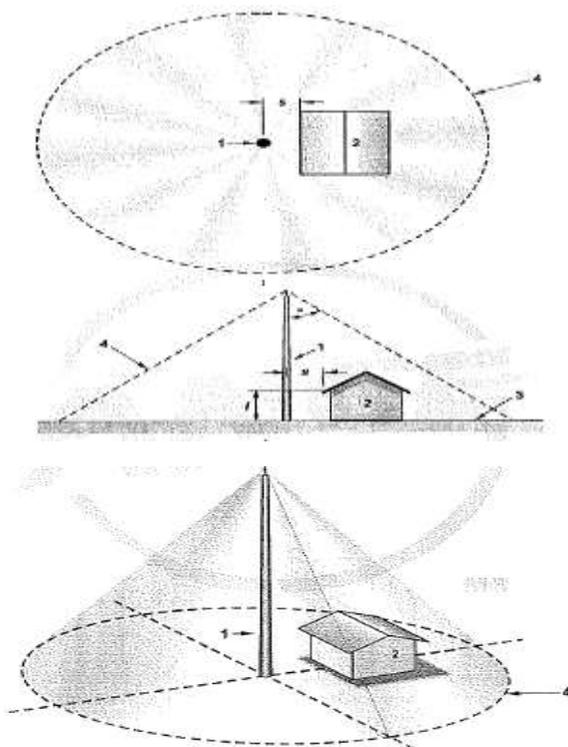
Es evidente que mientras más pequeño se asuma el volumen del cono de protección, más efectivo será el captador en la intercepción del líder de rayo.

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 α 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.



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

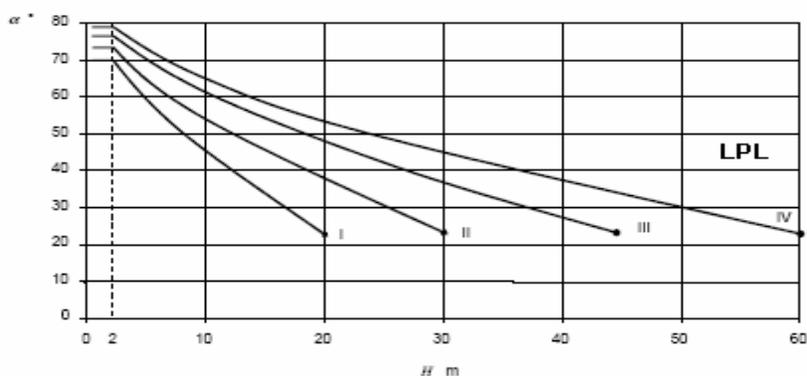


Figura 16.- Gráfica para la determinación del ángulo de protección (NMX-J-549-ANCE-2005).

Se puede seleccionar el ángulo de protección α ($^{\circ}$) del gráfico superior o se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

El radio de protección es:

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

Dónde:

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:

- 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.
- Las dimensiones de la malla captadora no serán mayores que los valores especificados para cada nivel de protección contra rayo.
- 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.
- No habrá instalaciones metálicas que sobresalgan del volumen protegido por los sistemas captadores.

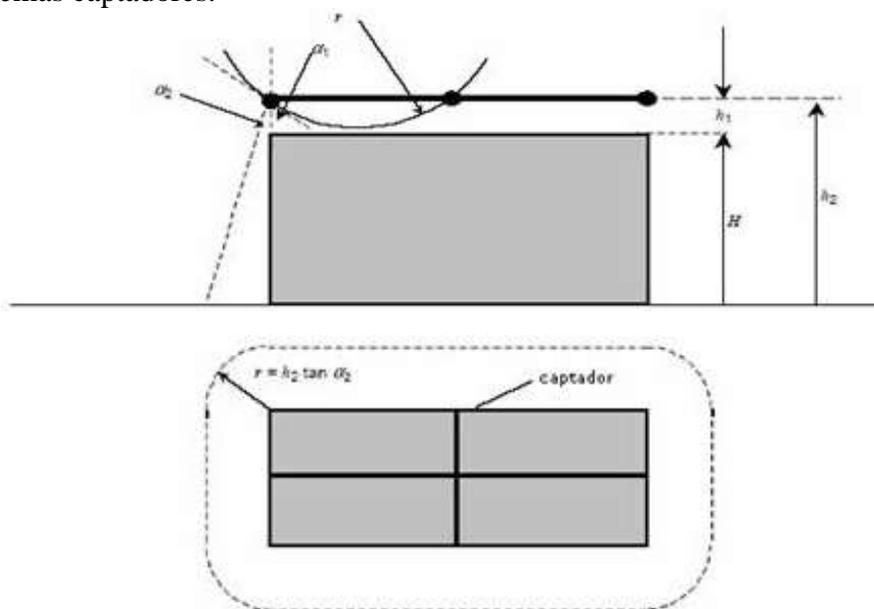


Figura 16.- Posicionamiento del sistema de captura utilizando el método de la malla.

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 7.- Niveles de protección del método de malla.

2.4.3 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 SEPTE es sumamente importante para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema, toda la instalación, uniones, conexiones, etc., son ilustrados a continuación, (**Figura17**).

Dónde:

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

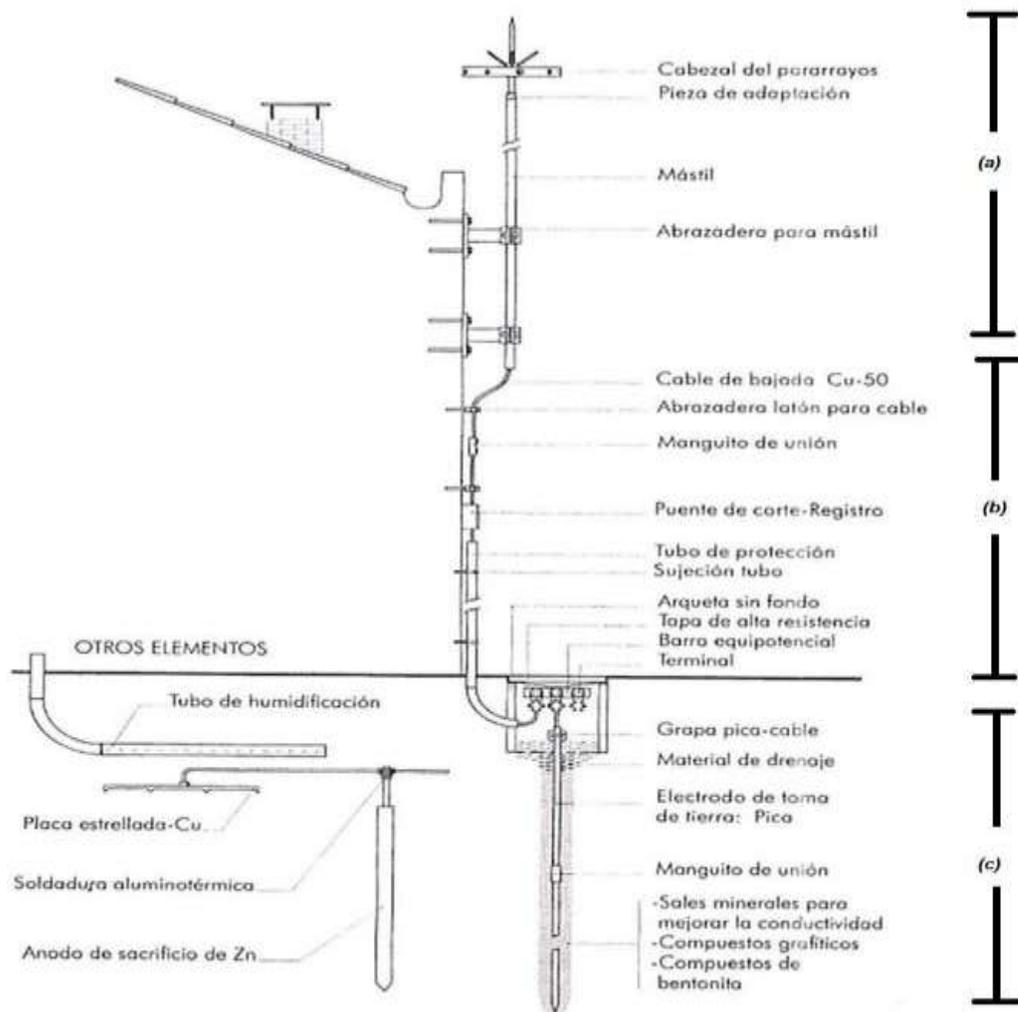


Figura 17.- Elementos de Instalación de un sistema de protección. .

2.5 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 (SIPTTE) 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.

Sistema Interno de Protección contra Tormentas Eléctricas.

En este sistema de protección interna, se debe considerar lo que es la unión equipotencial (UE), puesta a tierra para el interior del edificio o estructura, el supresor de sobretensiones (SSTT). Con respecto a la unión equipotencial se debe considerar a nivel externo para un SEPTTE aislado y no aislado, a nivel interno, en instalaciones de telecomunicaciones y blindaje electromagnético. En función de la norma NMX-J-549-ANCE-2005, considera tres partes fundamentales para un SPTE, la Valoración de riesgo, el diseño de SEPTTE y el diseño del SIPTTE.

2.5.1 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.

- Frecuencia de rayos directos a una estructura

El valor a calcular, es la frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura (N_o).

En donde:

$$n_o = N_g \times A_e \times 10^{-6} \quad (3)$$

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 media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes. Estos valores se aprecian en la tabla 8, (combinación de la tabla 1 y 2 pertenecientes a la NMX-J- 549-ANCE-2005).

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia (N_g)	*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: metálico, 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: centros comerciales, centros de espectáculos, puertos marítimos, escuelas, Aseguradoras, centros deportivos, aeropuertos, estacionamientos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitan.	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

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, papelería, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas potabilizadoras	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0.01	I ó II
Museos y sitios arqueológicos.	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0.02	II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0.02	II
<p>NOTAS</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>* El nivel de protección I es el de mayor protección y el nivel de protección IV es el de menor protección.</p>			

Tabla 8.- Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.

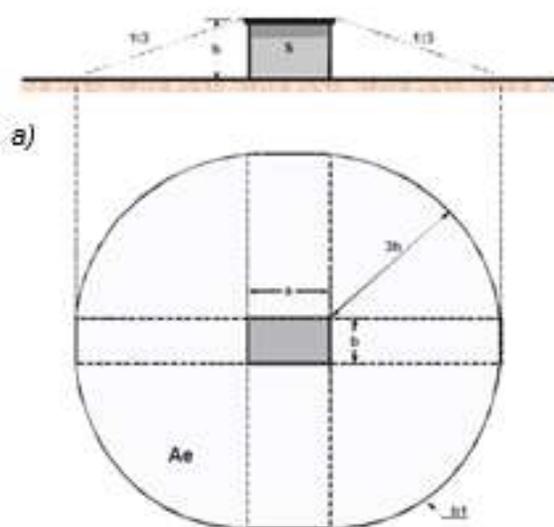
2.5.2 Áreas equivalentes de captura

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

- a) Estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo plano y de dos aguas.

Terreno plano y techo plano.

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



Terreno plano y techo a dos aguas.

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

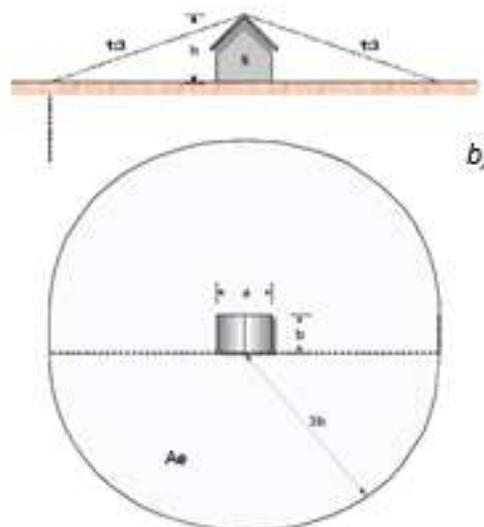


Figura 18.- Área de captura equivalente para una estructura de terreno plano y (a) con techo plano, (b) con techo a dos aguas.

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.

b) Estructura aislada ubicada en terreno irregular, (**Figura 18**).

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

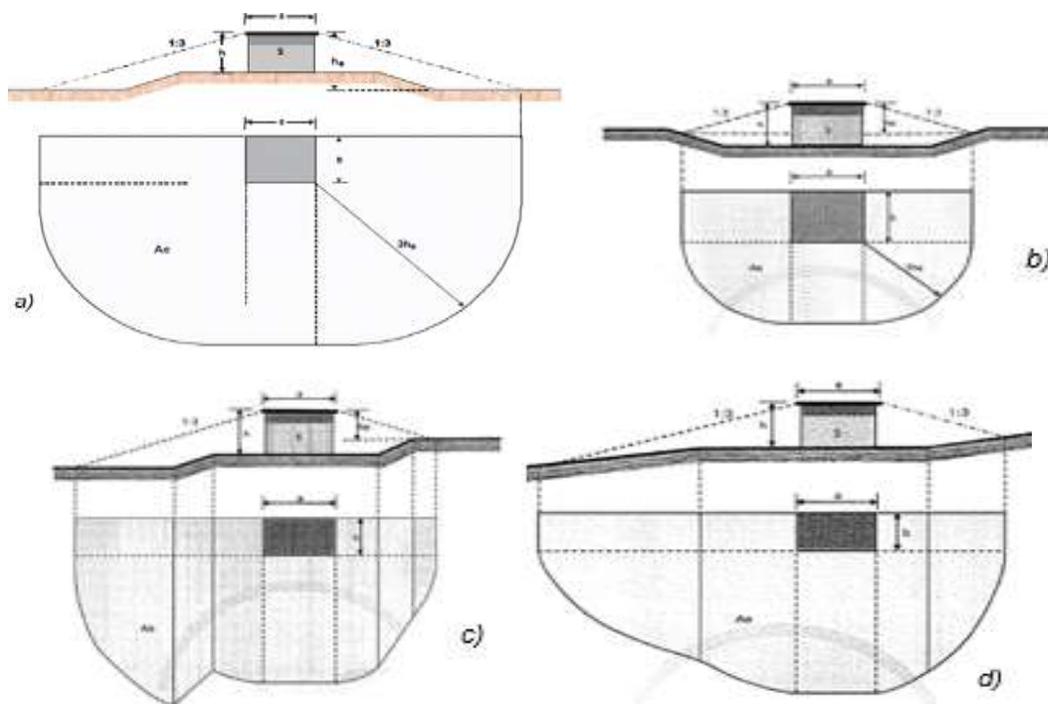


Figura 19.- Área de captura equivalente para una estructura en terreno irregular,
(a), (b), (c), (d).

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].

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

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

En donde:

X_s = Distancia equivalente, [m^2];

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, (**Figura 20**).

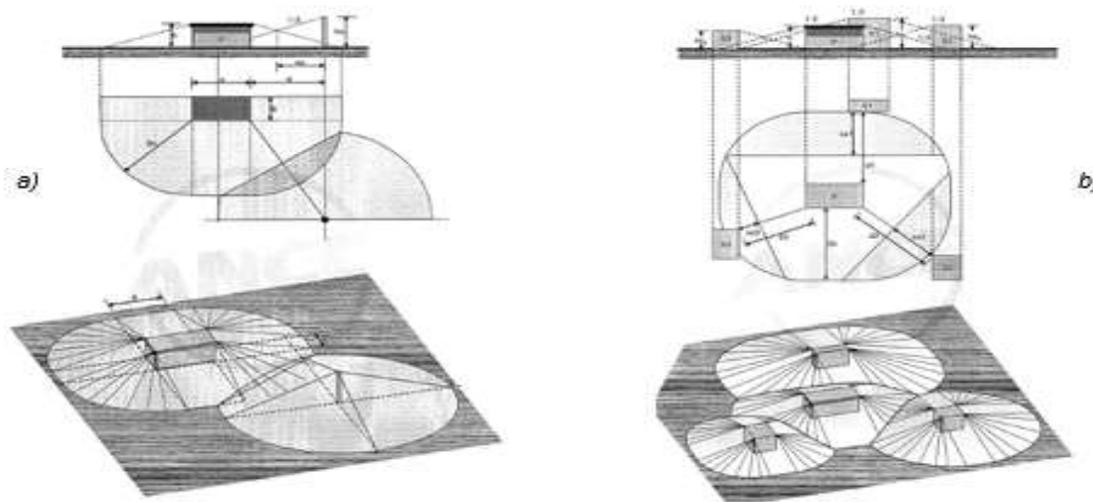


Figura 20.- Área de captura equivalente para una estructura con objetos vecinos, (a), (b).

2.5.3 Evaluación de la necesidad de protección

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:

- Si N_0 (estimado) es $\leq N_d$ (tabla 8, 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.
- Si N_0 (estimado) es $> N_d$ (tabla 6) debe instalarse un SEPTE.

La cuarta columna de la **tabla 9**, 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:

$$E = 1 - \frac{N_o}{N_d} \quad (6)$$

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

Tabla 9.- *Calculo 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:

- 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.

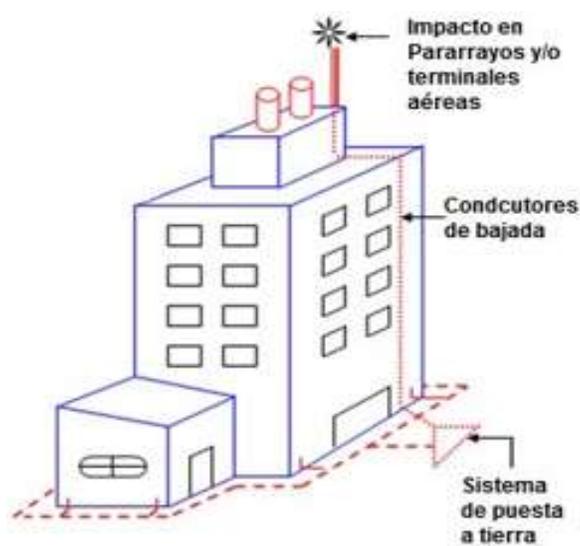


Figura 21.- Elementos que conforman el Sistema de Protección Externo contra Tormentas Eléctricas.

2.6. Diseño del sistema externo de protección (SEPTE)

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

El número y ubicación de las terminales aéreas de un SEPTE dependen del nivel de protección seleccionado y de la aplicación del método de la esfera rodante indicado en 2.4.2.

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.

2.6.1 Terminales Aéreas

Las terminales aéreas pueden ser elementos metálicos verticales, cables aéreos tendidos horizontalmente, y una combinación de ambos. Estas terminales deben cumplir con las especificaciones de materiales (**Tabla 10 y 11**) y de unión equipotencial adecuadas.

Material	Sección transversal mm^2
Cobre	35
Aluminio	70
Acero inoxidable	50
NOTA: Para el hacer inoxidable tipo aleación 304.	

Tabla 10. Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas.

Material	Espesor mm
Acero	4
Cobre	5
Aluminio	7

Tabla 11. Espesor mínimo de las hojas y tubos metálicos para terminales aéreas [6].

En SEPTTE las terminales aéreas pueden ser aisladas y no aisladas, se ocupan aisladas cuando la circulación de la corriente del rayo cause daños a la estructura y exista riesgo de fuego o explosión, mientras que las no aisladas se pueden ocupar siempre y cuando se logre la igualación de los potenciales de todos o parte de los elementos metálicos de una instalación.

- **Número y ubicación de terminales**

El número y ubicación de las terminales aéreas de un Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas dependen del nivel de protección seleccionado y de la aplicación del método de la esfera rodante. Existen elementos de la estructura o edificio que por ser metálicos y estar por encima de los objetos a proteger pueden considerarse en el diseño como terminales aéreas naturales para interceptar la corriente de la descarga, a pesar de no haber sido diseñados para tal fin. Estos elementos naturales pueden ser, hojas metálicas, ornamentaciones, barandillas, tubos metálicos, etc., generalmente ubicados en techos y fachadas, y deben cumplir las condiciones siguientes

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

La probabilidad del número de impactos sobre las terminales aéreas es mayor con su altura, aumentando también la probabilidad de interponerse en la trayectoria de rayos de mayor intensidad. Por lo tanto, para este trabajo se considerarán terminales aéreas de una altura que se encuentre entre los 3m por encima del edificio a proteger.

El número y ubicación de las terminales aéreas deben calcularse de acuerdo con su posición y nivel de protección como se indica en el método de la esfera rodante. En general, para cualquier edificio o estructura, existen dos niveles de referencia en donde debe aplicarse la esfera rodante, el nivel del techo y el nivel del piso alrededor del edificio o estructura.

Como la estructura a proteger para este trabajo es de 29 m de altura, el cálculo del número y ubicación de las terminales aéreas deben cumplir con la instalación de conductores horizontales alrededor del edificio formando lazos cerrados a cada 20m de altura.

2.6.2 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.

El número y ubicación de los conductores de bajada dependen del tipo de sistema de protección a seleccionar, ya sea aislado o no, como en este caso se trata de proteger un edificio con mayor tránsito de personas se debe aislar cada una de las bajadas. Se permite que el conductor de bajada se forme por alguno de estos elementos, solera, barra redonda, cable o acero estructural o de refuerzo (componente natural), sin olvidar que deben cumplir con las especificaciones de los materiales.

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

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

Requisitos.

En el diseño del Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas, los conductores de bajada deben cumplir con lo siguiente:

1. Distribuirse uniformemente a lo largo del perímetro de la estructura o edificio mediante una configuración lo más simétrica posible.

2. Conectarse a los elementos del sistema de puesta a tierra a través de la trayectoria más corta.
3. Conectarse a las terminales aéreas y al sistema de puesta a tierra de manera firme y permanente.
4. Ubicarse lo más alejado posible de circuitos eléctricos, electrónicos, de equipo con riesgo de fuego o explosión, accesos para el personal y de puertas y ventanas.

Conductores de bajada naturales

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

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

Trayectorias de los conductores de bajada y radios de curvatura.

Las rutas de conductores de bajada ubicadas en zonas de tránsito de personas deben evitarse y para el caso en que la ruta indicada no pueda realizarse debe cumplirse la distancia mínima de seguridad (**Figura 22**). La posición y distancia entre los conductores de bajada en las estructuras o edificios deben cumplir con la distancia mínima de seguridad, para este caso de 1.05 m



Figura 22. -Ruta recomendada para conductores de bajada en edificios con geometrías complejas como la indicada con tránsito de personas.

Conductores de bajada para un sistema externo de protección no aislado.

Las terminales aéreas y los conductores de bajada deben estar conectados a nivel de techo. A nivel de suelo, los conductores de bajada deben interconectarse al sistema de puesta a tierra. Además deben cumplirse los siguientes puntos, según sea el caso:

- a) Como el Sistema Externo de Protección contra Tormentas Eléctricas está por terminales aéreas horizontales, se deben utilizar de dos o más conductores de bajada.
- b) Los conductores de bajada deben estar distribuidos a cada 15m de acuerdo al nivel de protección. Los conductores de bajada deben estar ubicados cerca de cada una de las esquinas de la estructura.
- c) Si la pared de la estructura está hecha de material flamable, los conductores de bajada deben ubicarse a una distancia mayor a 0,1m del elemento a proteger.
- d) Los conductores de bajada deben conectarse con los conductores horizontales alrededor de la estructura o edificio.

Distancia de seguridad.

La distancia de seguridad debe calcularse de acuerdo a la ecuación 12, con la finalidad de colocar los conductores de bajada sin poner en riesgo a las personas y respetando a la vez el espacio para la conducción de corriente.

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} \quad d \geq s \quad (7)$$

En donde:

s = a la distancia de seguridad (m)

d = a la distancia entre los elementos a evaluar (m).

k_i : depende del nivel de protección seleccionado del SEPTTE, para nivel I= 0.075

k_c : depende de la configuración dimensional, para cuatro bajantes =0.066

k_m : depende del material de separación (aire o sólido) en este caso 0.5

l = a la longitud del conductor de bajada desde el punto de ubicación del elemento a evaluar a tierra (m)

2.6.2.1 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 fugo o explosión, accesos para el personal, así como puertas y ventanas. }

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, 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 12- 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 traveses), la armadura de acero (si fue construida con este fin, o cuenta con 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 13.- (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. 2.6.1).

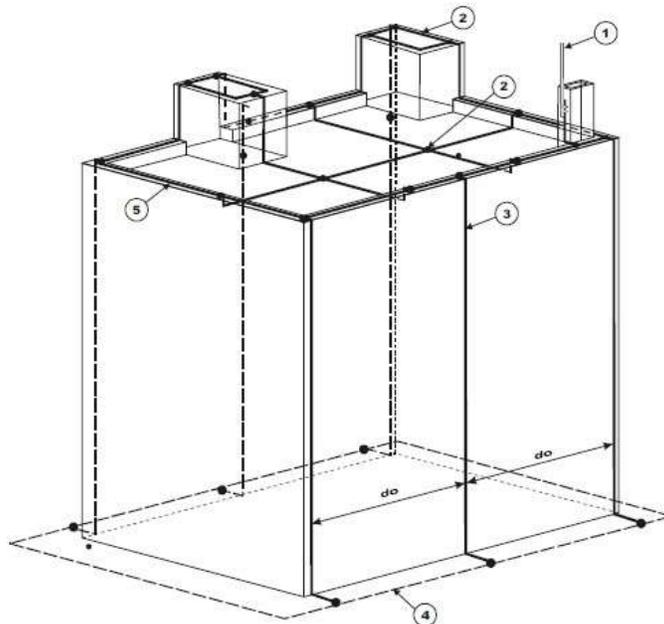


Figura 23.- Nota.-Se indica una sola terminal aérea vertical por motivos de claridad en el dibujo.

Dónde:

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.

2.6.3 Sistema de Puesta a Tierra.

Un sistema de puesta a tierra es un conjunto de conductores eléctricos (cables y electrodos) directamente enterrados en el suelo y distribuidos a través de una instalación expresamente diseñada para soportar corrientes excepcionales en caso de corto circuito o descarga atmosférica, entre otras eventualidades. A este sistema se conectan todos y cada uno de los elementos de la instalación que requieran ser puestos a tierra, tales como los neutros, tanques y carcasas de los equipos, los cables de guarda, las estructuras metálicas y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra, logrando los siguientes objetivos:

- Proveer un medio seguro para proteger al personal.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra.
- Proveer un medio para disipar las corrientes eléctricas indeseables.
- Facilitar la operación de los dispositivos de protección.
- Proveer un medio de descarga y desenergización de equipos, antes de proceder a las tareas de mantenimiento.
- Dar mayor confiabilidad y seguridad al servicio eléctrico
- Disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas, limitando las sobretensiones generadas
- Limitar la elevación de potencial de la red a valores aceptables, cuando ocurre una falla a tierra
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia (equipotencialidad efectiva).

Clasificación de los sistemas de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra se clasifican en dos grandes grupos:

a) De acuerdo a su naturaleza: Esta clasificación se refiere a la naturaleza dicotómica de los sistemas de puesta a tierra y se divide en dos secciones:

- Instalación artificial de puesta a tierra: son aquellas que se construyen específicamente para tal fin, utilizando las diversas clases de electrodos de puesta a tierra.

- Instalación natural de puesta a tierra: son en realidad elementos de otros sistemas técnicos, por ejemplo, líneas de tuberías metálicas o cimientos de estructuras metálicas, de equipos eléctricos, etc., vías férreas y hasta vías de agua que se encuentren dentro del ámbito de la instalación que se desea proteger y/o en su proximidad.

b) De acuerdo a su aplicación: Se refiere en otras palabras, a las que distingue las instalaciones de puesta a tierra de acuerdo a su funcionalidad, y constan de tres secciones importantes:

- Sistemas de puesta a tierra de protección: tienen la misión de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión ni aisladas y con las cuales puede tener contacto el personal. En otras palabras, este sistema es indispensable para asegurar que durante el traspaso de corriente a tierra sus efectos fisiológicos no dañen a los seres vivos que eventualmente estuviesen dentro del ámbito del sistema de tierra o en su proximidad en esos momentos, por ejemplo: la carcasa de una máquina eléctrica.
- Sistemas de puesta a tierra de funcionamiento: se aplica para satisfacer ciertas condiciones del servicio del sistema técnico en cuestión, es decir sirven para poner a tierra por necesidad de funcionamiento a determinados puntos del circuito eléctrico, tales como neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, apartarrayos, etc.
- Sistemas de puesta a tierra de trabajo: estos sistemas son realizados con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de la instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación, tales como cuchillas de seccionadores, etc.

Las clasificaciones anteriores envuelven de manera general a todos los tipos de puesta a tierra, esto es; en el sistema eléctrico existen diferentes dispositivos o partes del sistema con un fin determinado, pero cada uno tiene diferente propósito, no es lo mismo la puesta a tierra contra descargas atmosféricas que la puesta a tierra para cargas electrostáticas. Por tal motivo, es necesario hacer una clasificación secundaria de los sistemas de puesta a tierra de acuerdo a su propósito, esto es:

- **Puesta a tierra de los sistemas eléctricos.**

Esta clasificación tiene el propósito de limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Se logra uniendo mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

- **Puesta a tierra en señales electrónicas.**

Su propósito es evitar la contaminación de señales con frecuencias diferentes a las deseadas. La puesta a tierra se logra mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que puede ser el planeta tierra. También tiene el propósito de evitar la destrucción de los elementos semiconductores por un incremento en el voltaje. Se colocan dispositivos de protección conectados entre los conductores activos y la referencia cero.

- **Puesta a tierra de protección atmosférica.**

Sirve para canalizar la energía de las descargas atmosféricas a tierra sin mayores daños a personas y propiedades. Esta protección se logra con una malla metálica igualadora de potencial conectada al planeta tierra que cubre los equipos o edificios a proteger.

- **Puesta a tierra de protección electrostática.**

La finalidad de esta protección es neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando el planeta tierra como referencia de voltaje cero.

2.6.3.1 Resistividad del terreno y resistividad superficial.

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar el sistema de puesta a tierra. La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno.

La resistividad en otras palabras, es la propiedad que tiene el terreno de oponerse al paso de la corriente eléctrica y está determinada por las características del mismo suelo. La resistividad se mide en ohms-kilómetro u ohms-metro, etc.; pero de acuerdo a la NOM-008-SCFI-1993, la representación dimensional debe estar en ohms-cm. Existen dos formas para determinar el valor de la resistividad: una empírica mediante tabulación y conocimiento del terreno y la otra efectuando la medición directamente en el terreno. Los valores obtenidos en la medición del terreno tienen un doble propósito adicional a la relación con el sistema de puesta a tierra.

- Este tipo de datos es usado para realizar reconocimientos geofísicos debajo de la superficie como ayuda para identificar zonas de mineral, profundidades de roca y otros fenómenos geológicos.
- La resistividad posee un impacto directo sobre el grado de corrosión en tuberías bajo tierra. Una baja resistividad tiene relación con un aumento en actividad corrosiva y así dicta el tratamiento a utilizar.

La resistividad es un factor determinante en el valor de resistencia a tierra que pueda tener un electrodo enterrado, puede determinar la profundidad a la cual debe ser enterrado el mismo para obtener un valor de resistencia bajo.

El valor de la resistividad puede ser muy diferente de un lugar a otro y se afectará de acuerdo con la época del año en función de los siguientes parámetros:

- Sales solubles. A valores pequeños menores al 1% de estas sales, la resistividad es muy grande.
- Composición propia del terreno. Se refiere al tipo de terreno, ya que no es lo mismo tener un terreno con limo que tenerlo con tepetate.
- Estratigrafía. Este término relaciona las diferentes capas de la tierra.
- Granulometría. Este parámetro influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra.
- Estado higrométrico. Depende del contenido de agua, humedad y el clima.
- Temperatura. Si desciende la temperatura la resistividad aumenta.
- Compactación. Este término es inversamente proporcional a la resistividad.

2.6.3.2 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 cimientto 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 cimientto, 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 mm²
	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)	0.25m² Espesor mínimo 0.711mm
	Cable trenzado	53.5mm²

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 máx. 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 SPTE, deberán ser unidas al SPTE 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.-NORMATIVIDAD APLICABLE PARA ESTACIONES DE SERVICIO

3.1 NOM-005-ASEA-2016

La norma oficial mexicana nom-005-asea-2016, tiene como objetivo establecer las especificaciones, parámetros y requisitos técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa, y protección ambiental que se deben cumplir en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio para almacenamiento y expendio de diésel y gasolinas. Esta norma aplica en todo el territorio nacional y es de observación obligatoria para los Regulados, responsables del diseño, construcción, operación y mantenimiento de Estaciones de Servicio.

Diseño

El diseño de obras civiles comprende las etapas de Proyecto arquitectónico y Proyecto básico. Previo a la construcción de la Estación de Servicio, el Regulado debe contar con un Análisis de Riesgos elaborado por una persona moral con reconocimiento nacional o internacional, de conformidad con la regulación que emita la Agencia.

Proyecto arquitectónico.

Previo a la elaboración del proyecto arquitectónico, el Director Responsable de Obra debe contar con el estudio de mecánica de suelos, de topografía, de vientos dominantes y en el caso de Estación de Servicio Marina también estudio de batimetría, información de movimiento de mareas y de corrientes, para desarrollar la obra civil. El estudio de mecánica de suelos debe incluir como mínimo, lo siguiente:

- a) La capacidad de carga del suelo a la profundidad de desplante de las estructuras.
- b) La estratigrafía del subsuelo con clasificación de SUCS (Sistema Único de Clasificación de Suelos), salvo cuando haya rellenos.
- c) Cálculo para la estabilidad de taludes para excavaciones proyectadas en obra.
- d) Determinación de los bulbos de presión de las cargas procedentes de las construcciones colindantes a los tanques y obras o edificaciones del proyecto, de acuerdo al tipo y tamaño de construcciones colindantes.
- e) Sondeos con un mínimo de 10 m para la determinación del nivel de manto freático.
- f) Conclusiones y recomendaciones para el alojamiento de los tanques de almacenamiento.

Dependiendo de la zona donde se pretenda construir la Estación de Servicio se realizará la determinación de estructuras geológicas tales como fallas, fracturas, subsidencia, fenómenos de tubificación, oquedades o fenómenos de disolución y licuación.

Proyecto básico.

En el proyecto básico debe incluir lo siguiente:

- ✓ Planos de instalaciones mecánicas.
- ✓ Instalaciones hidráulicas.
- ✓ Drenajes: Planta de conjunto con la distribución de la red de drenajes pluviales y aceitosos. Es opcional especificar el drenaje de aguas residuales.
- ✓ Instalaciones eléctricas: Planta de conjunto y planos eléctricos adicionales que se requieran. El Regulado debe evidenciar que cuenta con el dictamen donde demuestre que la Estación de Servicio fue verificada por una Unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas (UVIE) acreditada y aprobada en términos de la LFMN.

Áreas, delimitaciones y restricciones

El proyecto de construcción de acuerdo a sus necesidades estará constituido por las áreas, elementos y componentes siguientes:

- a) Oficinas y casetas integradas a módulos de despacho o abastecimiento.
- b) Cuarto de sucios.
- c) Cisterna.
- d) Cuarto de control eléctrico y/o cuarto de máquinas.
- e) Módulos de despacho o abastecimiento de combustible.
- f) Almacenamiento de combustibles.
- g) Accesos y circulaciones.
- h) Áreas verdes.
- i) Muelles para instalaciones marinas.
- j) Almacén de residuos peligrosos.

En todos los casos se respetarán distancias a áreas de seguridad o se delimitarán por medio de bardas, muretes, jardineras o cualquier otro medio similar. El Análisis de Riesgos debe considerar las delimitaciones, accesos, vialidades y colindancias, entre otros.

Instalaciones eléctricas

Se pueden utilizar para la iluminación sistemas o tecnologías alternas de tal forma que permitan la operación de la Estación de Servicio.

Se pueden utilizar para el suministro Normal de energía eléctrica o para emergencias sistemas alternos de generación y/o almacenamiento de energía eléctrica como las plantas de energía eléctrica con motor de combustión interna, celdas solares, sistemas eólicos, o cualquier otro sistema que permita la operación de la Estación de Servicio. En instalaciones con tanques de almacenamiento de combustibles superficiales no confinados, se deben colocar sistemas de pararrayos.

Los conductores de un circuito intrínsecamente seguro no se instalarán en el mismo ducto, caja de conexiones o de salida y otros accesorios, con conductores de otro circuito, a menos que pueda instalarse una barrera adecuada que separe los conductores de los respectivos circuitos. En las acometidas eléctricas y de tierras físicas a contenedores de dispensarios y motobombas de tanques de almacenamiento, las instalaciones eléctricas deben ser herméticas.

Para impedir la filtración de vapores, fluidos y humedad al aislamiento exterior de los conductores eléctricos, se aplicará al sello eléctrico, una fibra y compuesto sellador aprobado y cajas a prueba de explosión. Los tableros para el centro de control de motores estarán localizados en una zona exclusiva para instalaciones eléctricas, la cual por ningún motivo debe estar ubicada en el cuarto de máquinas ni en las áreas clasificadas de las divisiones 1 y 2.

La Estación de Servicio tendrá mínimo cuatro interruptores de emergencia ("paro de emergencia") de golpe (tipo hongo) que desconecten de la fuente de energía a todos los circuitos de fuerza, así como al alumbrado en dispensarios, los cuales deben ser a prueba de explosión con clasificación aprobada para áreas de la clase I, grupo D, divisiones 1 y 2. El alumbrado general debe permanecer encendido.

Los interruptores estarán localizados en el interior de la oficina de control de la Estación de Servicio donde habitualmente exista personal, en la fachada principal del edificio de oficinas, en la zona de despacho y en la zona de almacenamiento, independientemente de cualquier otro lugar. Los botones de estos interruptores deben ser de color rojo y se colocarán a una altura de 1.70 m a partir del nivel de piso terminado.

Si por limitaciones de espacio el área donde queden alojados los tableros y el centro de control de motores se localiza en áreas peligrosas, los equipos eléctricos que se instalen deben ser a prueba de explosión o clase NEMA, o bien se instalará un equipo de presurización de acuerdo a la NFPA 496, o Código o Norma que la modifique o sustituya.

3.2 NOM-001-SEDE-2012

La norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). Tiene como objetivo establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones de seguridad para las personas y sus propiedades, en lo referente a la protección contra:

- ✓ Descargas eléctricas
- ✓ Efectos térmicos
- ✓ Sobrecorriente
- ✓ Corrientes de falla y
- ✓ sobretensiones

El cumplimiento de las disposiciones indicada en esta norma promueve el use de la energía eléctrica en forma segura; así mismo esta norma no intenta ser una guía de diseño, ni un manual de instrucciones para personas no calificadas.

Esta norma sobre a las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

- a) propiedades industriales, comerciales, de vivienda, cualquiera que sea su uso, públicas y privada, y en cualquiera de los niveles de tensión de operación, incluyendo las utilizadas para el equipo eléctrico conectado por los usuarios. instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras.
- b) Casas móviles. Vehículos de recreo, construcciones flotantes, ferias, circos y exposiciones, talleres, lugares de reunión y de atención a la salud, construcciones agrícolas, marinas y muelles.
- c) Alambrado fijo para telecomunicaciones, señalización, control y similares.
- d) Las ampliaciones o modificaciones a las instalaciones, así como a las partes de instalaciones existentes afectadas por estas ampliaciones y modificaciones.
- e) Todas las instalaciones del usuario situadas fuera de edificios.

250-46. Separación de los conductores de bajada de los pararrayos.

Las canalizaciones, envolventes, estructuras y partes metálicas de equipo eléctrico que no transporten normalmente corriente eléctrica, se deben mantener alejadas 1.80 metros como mínimo de los conductores de bajada de los electrodos de puesta a tierra de los pararrayos o deben unirse cuando la distancia a los conductores de bajada sea inferior a 1.80 metros.

250-50. Sistema de electrodos de puesta a tierra.

Todos los electrodos de puesta a tierra que se describen en 250-52(a)(1) hasta (a)(7), que estén presentes en cada edificio o estructura alimentada, se deben unir entre sí para formar el sistema de electrodos de puesta a tierra. Cuando no existe ninguno de estos electrodos de puesta a tierra, se debe instalar y usar uno o más de los electrodos de puesta a tierra especificados en 250-52(a)(4) hasta (a)(8). En ningún caso, el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra puede ser mayor que 25 ohms.

Nota: En el terreno o edificio pueden existir electrodos o sistemas de tierra para equipos de cómputo, pararrayos, telefonía, comunicaciones, subestaciones o acometida, apartarrayos, entre otros, y todos han de conectarse entre sí.

Excepción: No se exigirá que los electrodos recubiertos de concreto en los edificios o estructuras existentes, sean parte del sistema de electrodos de puesta a tierra, cuando las varillas de acero de refuerzo no estén accesibles sin dañar el concreto.

250-60. Uso de las terminaciones de las varillas de pararrayos.

Los conductores y los electrodos de tuberías, varillas, o placa enterrados, usados para la puesta a tierra de varillas de pararrayos, no se deben utilizar en lugar de los electrodos de puesta a tierra exigidos en 250-50 para la puesta a tierra de sistemas de alambrado y equipo. Esta disposición no prohíbe los requerimientos de unión de los electrodos de puesta a tierra de los diferentes sistemas.

NOTA 1: Ver 250-106, para la separación de los dispositivos de las varillas de pararrayos. Ver 800-100(d), 810-21(j) y 820-100(d) para la unión de los electrodos.

NOTA 2: La unión entre sí de todos los electrodos de puesta a tierra separados, limitará las diferencias de potencial entre ellos y entre sus sistemas de alambrado asociados.

250-106. Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

Los electrodos de puesta a tierra del sistema de protección contra descargas atmosféricas se deben unir al sistema del electrodo de puesta a tierra del edificio o estructura.

NOTA 1: Ver 250-60 para el uso de las varillas de pararrayos

NOTA 2: Las canalizaciones metálicas, envoltentes, carcasas y otras partes metálicas no portadoras de corriente del equipo eléctrico instalado en un edificio equipado con un sistema de protección contra descargas atmosféricas,

3.2.1 Clasificación de áreas peligrosas

El Capítulo 5, Artículos 500 a 504 de la nom-001-sede-2012 cubren los requisitos para equipo eléctrico, electrónico y alambrado, para todas las tensiones eléctricas, en áreas clase I, divisiones 1 y 2; clase II, divisiones 1 y 2 y clase II, divisiones 1 y 2 en donde pueda existir peligro de incendio o explosión debido a gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, polvos combustibles o fibras o partículas combustibles o de fácil ignición dispersas en el aire.

500-5 Clasificación de lugares

- **Clasificación de lugares:** los lugares de deben clasificar dependiendo de las propiedades del gas inflamable, el vapor producido por líquido inflamable, los vapores producidos por líquidos combustibles, los polvos o fibras / partículas que puedan estar presentes, y similares con posibilidad de que estén presentes en concentraciones o cantidades inflamables o combustibles cuando los únicos materiales utilizados o manipulados en estos lugares sean pirofóricos, estos lugares no deben ser clasificados. Para determinar su clasificación, cada cuarto o área se debe considerar individualmente.

- **Lugares clase 1.** Los lugares clase 1 son aquellos en los que hay o puede haber en el aire gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles, en cantidad suficientes para producir mezclas explosivas o inflamables. Los lugares clase 1 deben incluir los especificados en (1) y (2) siguientes:

1) clase 1, División 1. Un lugar clase 1, división 1, es un lugar:

- (1) En el cual, debido a condiciones normales de funcionamiento, pueden existir concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o líquidos combustibles.
- (2) En el cual, debido a operaciones de reparación, mantenimiento o fugas, frecuentemente pueden existir concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o líquidos combustibles por encima de sus puntos de ignición.
- (3) En el cual a avería o funcionamientos defectuosos de equipos o procesos pueden liberar concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos combustibles y simultáneamente pueden causar una falla en el equipo eléctrico, de manera que provoque que el equipo eléctrico se convierta en la fuente de ignición.

2) Clase 1, División 2. Un lugar clase 1, División 2, es un lugar:

- 1) En que se manipulan, procesan o utilizan gases volátiles inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles, pero en que los líquidos, vapores o gases estarán confinados normalmente en contenedores cerrados o sistemas cerrados, de los que pueden escapar sólo por rotura accidental o avería de dichos contenedores o sistemas, o si los equipos funcionan mal;
- 2) En el cual las concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables o vapores producidos por líquidos combustibles se evitan normalmente mediante la ventilación mecánica positiva y el cual podría convertirse en peligroso por la falla u operación anormal del equipo de ventilación.
- 3) Que está adyacente a un lugar de la clase 1 División 1, y al cual ocasionalmente se puede comunicar concentraciones de gases inflamables, vapores producidos por líquidos inflamables, vapores producidos por líquidos combustibles, por encima de sus puntos de ignición, a menos que dicha comunicación se evite mediante un sistema de ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio y que se proporcionen medidas de seguridad eficaces contra las posibles fallas de la ventilación.

NOTA: Esta clasificación incluye usualmente los lugares en los que se utilizan líquidos volátiles inflamables o gases o vapores inflamables pero que, sólo resultarían peligrosos en caso de un accidente o de alguna condición de funcionamiento excepcional.

Los factores que merecen consideración para establecer la clasificación y la extensión de cada lugar, son la cantidad de materiales inflamables que podrían escapar en caso de accidente, la suficiencia del equipo de ventilación, el área total involucrada y el historial de incendios o explosiones de esa industria o negocio.

- **Lugares Clase II.** Un lugar de Clase II es el que resulta peligroso por la presencia de polvos combustibles. Los lugares Clase II deben incluir los especificados en (1) y (2) siguientes.

1) Clase II, División 1. Un lugar de Clase II, División 1 es un lugar:

- 1) En el cual, en condiciones normales de operación hay polvo combustible en el aire, en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables; o
- 2) En el que una falla mecánica o el funcionamiento anormal de la maquinaria o equipos pueden causar que se produzcan mezclas explosivas o inflamables y en el que además, puede haber una fuente de ignición debido a la falla simultánea de los equipos eléctricos, la operación de los dispositivos de protección o por otras causas,
- 3) En el que puede haber polvos combustibles del grupo E, en cantidades suficientes para ser peligrosos.

NOTA: Son particularmente peligrosos los polvos que contienen magnesio o aluminio, por lo que se deben tomar las máximas precauciones para evitar su ignición y explosión.

2) Clase II, División 2. Un lugar de Clase II, División 2 es un lugar:

- 1) En el que puede haber polvo combustible en el aire en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables, debido a operaciones anormales.
- 2) En donde hay acumulación de polvo combustible pero es insuficiente para interferir con la operación normal del equipo eléctrico u otros aparatos, pero puede haber polvo combustible en suspensión en el aire como resultado de un mal funcionamiento de los equipos de manipulación o de proceso.
- 3) En el que la acumulación de polvo combustible sobre, dentro o en la cercanía de los equipos eléctricos puede ser suficiente para interferir con la disipación segura del calor de dichos equipos, o puede ser inflamable por la operación anormal o falla de los equipos eléctricos.

NOTA 1: Los factores que merecen tenerse en cuenta para establecer la clasificación de un lugar y que pueden dar como resultado un área no clasificada son, la cantidad de polvo combustible que pueda estar presente y la suficiencia de los sistemas de eliminación del polvo.

NOTA 2: Cuando algunos productos, como las semillas, son manipulados de modo que producen poca cantidad de polvo, la cantidad de polvo depositado puede no justificar la clasificación del lugar.

- **Lugares Clase III.** Los lugares de Clase III son aquellos que resultan peligrosos por la presencia de fibras fácilmente inflamables o cuando se manipulan, fabrican o utilizan materiales que producen partículas combustibles, pero en el que no es probable que tales fibras partículas estén en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables. Los lugares Clase III deben incluir los especificados en (1) a (2) siguientes:

1) Clase III, División 1. Un lugar de Clase III, División 1 es un lugar en el que se manipulan, fabrican o usan fibras partículas fácilmente inflamables.

2) Clase III, División 2. Un lugar de Clase III, División 2 es un lugar en el que se almacenan o manipulan fibras partículas fácilmente inflamables, en procesos diferentes de los de manufactura.

3.3 NOM-022-STPS-2015

La norma oficial mexicana NOM-022-STPS-2015, Electricidad Estática en los centros de trabajo-condiciones de seguridad. Tiene como objetivo establecer las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para prevenir los riesgos por electricidad estática, así como por descargas atmosféricas.

Esta Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en las áreas de los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, o en aquellas en que, por la naturaleza de sus procesos, materiales y equipos, sean capaces de almacenar o generar cargas eléctricas estáticas

No aplica en vehículos automotores, ferroviarios, embarcaciones y/o aeronaves utilizados para el transporte terrestre, marítimo, fluvial o aéreo, competencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

7.5 En las zonas donde se manejen, almacenen o transporten sustancias inflamables o explosivas, deberán conectarse a tierra las partes metálicas que no estén destinadas a conducir energía eléctrica y que no se encuentren ya inherentemente conectados a tierra, tales como tanques metálicos, cajas metálicas de equipos, maquinaria y tuberías.

8. Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas

8.1 Los centros de trabajo o áreas que se clasifiquen como riesgo de incendio alto de acuerdo con lo establecido por la NOM-002-STPS-2010, o las que la sustituyan, deberán instalar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, tal como el sistema de pararrayos.

Para el diseño e instalación del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, puede consultarse la Norma Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005, o las que la sustituyan.

En la Guía de referencia I, se presentan algunos ejemplos en los que se sugiere considerar la instalación de un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

8.2 Para 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, los factores siguientes:

- a) El arreglo general del centro de trabajo (planta, cortes y elevaciones);
- b) Las sustancias inflamables o explosivas que se almacenen, manejen o 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 las de los contenedores y/o tuberías, así como la naturaleza de los procesos a que están sujetas, y las condiciones presentes del ambiente;
- c) La densidad del rayo a tierra de la región, y
- d) La zona de protección del sistema.

8.3 El centro de trabajo deberá 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 la que se manejan las sustancias inflamables o explosivas. El estudio deberá ser elaborado por un ingeniero electricista o afín, y contener, al menos, lo siguiente:

- a) Tipo y características del sistema instalado;
- b) Altura de las terminales aéreas que sobresalen de cualquiera de las estructuras circundantes;
- c) Ubicación del sistema;
- d) Área de cobertura de protección con la metodología utilizada para su cálculo, y
- e) Nombre y firma de quien lo elaboró, así como número de cédula profesional.

8.4 Para reducir el riesgo de choque eléctrico derivado de la circulación de la corriente de rayo en los conductores de bajada y en los elementos de la red de puesta a tierra del sistema externo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, se deberá adoptar lo siguiente:

- a) Instalar un arreglo del sistema de puesta a tierra y proveer una superficie de alta resistividad en la zona de tránsito de trabajadores, tal como grava triturada de 0.10 metros de espesor como mínimo, entre el terreno natural y los elementos del sistema de puesta a tierra.
- b) Proveer una canalización no metálica con resistencia a la intemperie sobre la superficie del conductor de bajada con el objeto de reducir la posibilidad de contacto accidental o incidental de los trabajadores;

- c) Colocar en la canalización avisos de precaución que indiquen el “PELIGRO: EVENTUAL CORRIENTE DE RAYO”, conforme a lo dispuesto por la NOM-026-STPS-2008, o las que la sustituyan;
- d) Unir eléctricamente al sistema de puesta a tierra (por debajo del nivel de piso) todos los elementos metálicos y acero de refuerzo de la estructura a proteger, mediante electrodos de puesta a tierra horizontales colocados a una profundidad mínima de 0.60 metros,
- e) Instalar el conductor de bajada de tal forma que su recorrido sea lo más corto posible y se eviten cruces con instalaciones eléctricas.

8.5 Los trabajadores que realicen actividades en lugares en los que exista exposición a la incidencia de descargas atmosféricas, y no estén protegidos contra este riesgo, tales como azoteas de edificios que sobresalen en altura con respecto a otras estructuras contiguas, postes o torres de alumbrado o cableado, plataformas elevadas, antenas, entre otros, deberán suspender la actividad tan pronto se aproxime una tormenta eléctrica.

8.6 La red de puesta a tierra de los sistemas de pararrayos deberá interconectarse con otras redes de puesta a tierra, tales como las de motores, subestaciones o sistema eléctrico en general.

8.7 Los electrodos de la red de puesta a tierra de los sistemas de pararrayos deberán permitir su desconexión cuando se realice la medición a que se refiere el Capítulo 9 de esta Norma. Para ello, los electrodos deberán contar con medios que permitan su desconexión y que eviten falsos contactos.

8.8 Queda prohibido utilizar pararrayos que estén fabricados o funcionen a base de materiales radiactivos.

9. Medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra

9.1 La medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá realizar aplicando el método de caída de tensión, de conformidad con lo que prevé el numeral 9.4 de la presente Norma. Esta medición deberá efectuarse tomando en consideración la condición más desfavorable en cuanto al grado de humedad del terreno en el que se ha instalado la red de puesta a tierra.

9.2 Para realizar la medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá contar con los instrumentos siguientes:

- a) Equipo de medición de resistencia de tierra con las características siguientes
 1. Intervalo de frecuencia de 90 Hz a 200 Hz o mayor, y
 2. Con capacidad de proveer corriente con valores de al menos 0.1 mA;

- b) Accesorios provistos por el fabricante del equipo de medición o, en caso de no contar con accesorios para el equipo de medición, utilizar cable o cordón aislado de cobre de forro apropiado a las condiciones de uso con una designación de uso más común de 2.08 mm² (14 AWG) o 1.307 mm² (16 AWG), con accesorios en sus extremos para la correcta conexión al equipo y electrodos auxiliares con una longitud mínima de 50 centímetros y un diámetro mínimo de 13 milímetros de alguno de los materiales siguientes: acero inoxidable, acero con recubrimiento de cobre o acero galvanizado;
- c) Óhmetro o medidor de resistencia a tierra para comprobar la continuidad de las conexiones a tierra, con una resolución de al menos 1 ohm;
- d) Voltímetro con resolución de al menos 1 volt, y
- e) Flexometro o instrumento similar de medición de longitud.

9.3 El óhmetro o medidor de resistencia a tierra y el voltímetro deberán contar con certificado de calibración vigente, en los términos de lo determinado por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

9.4 La medición de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra se deberá realizar conforme a lo siguiente:

- a) Verificar que el electrodo bajo prueba (que corresponde a la red de puesta a tierra) esté desconectado de la red de puesta a tierra, considerando lo siguiente:
 - 1. Realizar la desconexión de la red de puesta a tierra, con los equipos eléctricos desenergizados, y
 - 2. Efectuar la medición de la resistencia a tierra desconectando cada electrodo de forma individual, cuando ésta se realice en condiciones de operación normal, a fin de no desproteger a los trabajadores;
- b) Ajustar a cero la aguja del instrumento de medición analógico o verificar que la fuente de poder del equipo digital tenga suficiente energía para realizar el conjunto de mediciones;
- c) Aplicar el método de caída de tensión de la manera siguiente:
 - 1. Hacer circular una corriente entre dos electrodos: uno llamado C1 (que corresponde a la red de puesta a tierra) y un electrodo auxiliar denominado C2, mismo que se introduce al terreno a una distancia mínima de 20 metros de C1. Para realizar la primera medición se introduce en el terreno otro electrodo auxiliar llamado P1, a un metro de distancia de C1, entre el electrodo bajo prueba C1 y el electrodo auxiliar C2;
 - 2. Desplazar el electrodo auxiliar P1 de manera lineal a 3 metros de la primera medición y en dirección al electrodo auxiliar C2 para realizar la segunda medición,

3. Realizar las mediciones siguientes desplazando el electrodo auxiliar P1 cada 3 metros hasta complementar 19 metros.
 4. En la Figura 3.3 se muestra la colocación de los electrodos de la red de puesta a tierra, y auxiliares;
- d) Registrar los valores obtenidos de las mediciones;
- e) Elaborar una gráfica con base en los valores registrados, similar a la que se ilustra en la parte inferior de la Figura 3.3 siguiente;

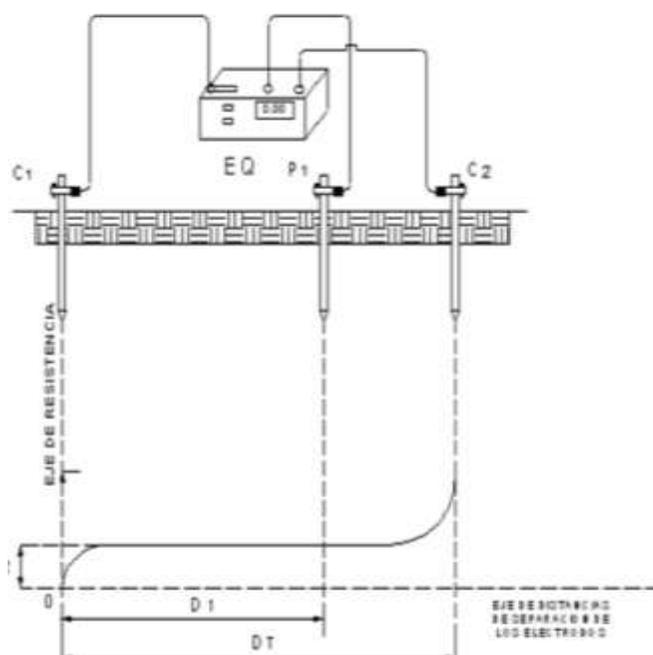


Figura 24.- Posición de electrodos y gráfica de valores de resistencia eléctrica vs. Distancia

- D1** Distancia entre el electrodo de la red de puesta a tierra C1 y el electrodo auxiliar P1.
DT Distancia entre el electrodo de la red de puesta a tierra C1 y el electrodo auxiliar C2

- f) Obtener el valor de la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra de la intersección del eje de resistencia con la parte paralela de la curva al eje de las distancias;
- g) Repetir las mediciones alejando el electrodo C2 del electrodo C1, cuando la curva obtenida no presente un tramo paralelo, hasta obtener valores paralelos al eje de las distancias, y

h) Verificar que los valores de la resistencia a tierra, de la red de puesta a tierra que se obtengan en esta prueba, sean menores o iguales a 10 ohms para el (los) electrodo(s) del sistema de pararrayos, y/o tener un valor menor o igual a 25 ohms para la resistencia a tierra de la red de puesta a tierra.

9.5 El resultado de las mediciones tendrá que registrarse, dicho registro deberá contener, como mínimo, lo siguiente:

a) Los datos del centro de trabajo:

- 1) Nombre o razón social del centro de trabajo;
- 2) Domicilio del centro de trabajo;
- 3) Fecha de realización de la medición, y
- 4) Nombre y firma de la persona que realizó la medición;

b) Los datos de los instrumentos de medición:

- 1) Nombre genérico del instrumento utilizado;
- 2) Características del equipo de medición utilizado (modelo, número de serie, intervalos de medición, precisión, exactitud, etc.), y
Copia del certificado de calibración vigente del instrumento utilizado;

c) Los valores de las mediciones:

- 1) Valores de resistencia a tierra de la red de puesta a tierra y/o de la resistencia a tierra del (los) electrodo(s) del sistema de pararrayos, y
- 2) Indicación de si existe continuidad eléctrica de los puntos de conexión del sistema;

d) El croquis en el que se muestre los puntos de medición del sistema de puesta a tierra y, en su caso, del (los) electrodo(s) del sistema pararrayos, y

e) Las características del sistema de pararrayos utilizado, en su caso, con al menos lo siguiente:

- 1) Tipo de sistema de pararrayos;
- 2) Altura de las terminales aéreas;
- 3) Ubicación, y
- 4) Área de cobertura de protección.

4. ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE PARARRAYOS

4.1 Descripción de la estación de servicio a proteger.



British Petroleum, es una compañía de energía, dedicada principalmente al petróleo y al gas natural con sede en Londres, Reino Unido.

BP ha invertido en México desde hace más de 50 años, comenzando con la comercialización y distribución de lubricantes Castrol en la década de los 60's. Desde entonces, su presencia se ha incrementado con las oportunidades que se ofrecen en el mercado dinámico y en crecimiento

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 Boulevard Belisario Domínguez, Col. Jardines de Tuxtla, en Tuxtla Gutiérrez, Estado de Chiapas (figura 4.1). Por ser una estación de servicio es necesaria la instalación de un pararrayos, como se establece en el punto 8.1 de la NOM-022 STPS:



Figura 25.- Localización de la estación de servicio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

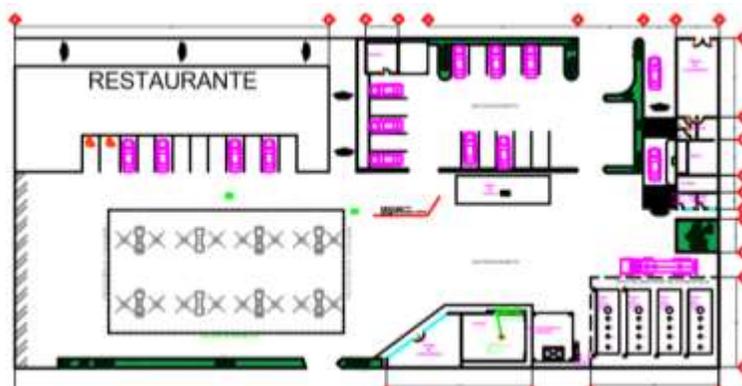


Figura 26.- Vista de la planta de la estación de servicio.

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.

4.2 Selección del pararrayos.

De acuerdo a los factores que se deben considerar para la selección del pararrayo establecido en la Nom-022-STPS-2015 Electricidad estática en los centros de trabajo, , sección 8, se propone para la instalación un pararrayos tipo dipolo.

La altura de la terminal está ilimitada con respecto a los niveles que marca la norma por encima del objeto a proteger, considerando el radio de protección en el diseño. 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.

El pararrayos será instalado a una altura de 23.5 metros, con base en lo anterior, teniendo en cuenta la altura del edificio, y que el conductor de bajada debe ser adecuado y así mismo debe ser lo más corto posible, el radio de protección con este pararrayos es el siguiente:

Altura de edificio: 6 metros.

Altura de pararrayo: 17.5 metros

$$\text{Radio de Protección} = (\text{Altura de montaje}) \times (3)$$

$$\text{Radio de Protección} = (23.5 \text{ metros}) \times (3) = \mathbf{70.5 \text{ metros.}}$$



Figura 27.- Ángulo de protección sustancial de 71°

4.3 Especificaciones y costo del pararrayos.

DESCRIPCIÓN

El pararrayos Dipolo Parres, concentra la energía del gradiente de potencial existente en la atmósfera por medio del toroide excitador que se carga constantemente al potencial circundante y define, en esa forma, la incidencia sobre la punta de descarga. El campo eléctrico entre el arillo equipotencial y el toroide permite regular la dirección de los iones hacia arriba, generando así, una trayectoria favorable para la formación de un líder ascendente con mayor alcance.

Especificaciones

- Angulo de protección: 71° sustancia; el radio de protección es de 3 veces la altura de la instalación.
- Fabricada en aluminio.
- Tipo de cable: cal 1/0,2/0 ó 4/0 de cobre desnudo espacial para pararrayos.
- Aislante: Espuma de polietileno vulcanizado para la punta del mástil que lo soporta.
- Corriente máxima de diseño: 30,000 amperes.
- Resistencia máxima: 100 ohms aproximadamente.
- Longitud: 1.8 m
- Diámetro: 16 mm
- Barra de descarga: duraluminio.

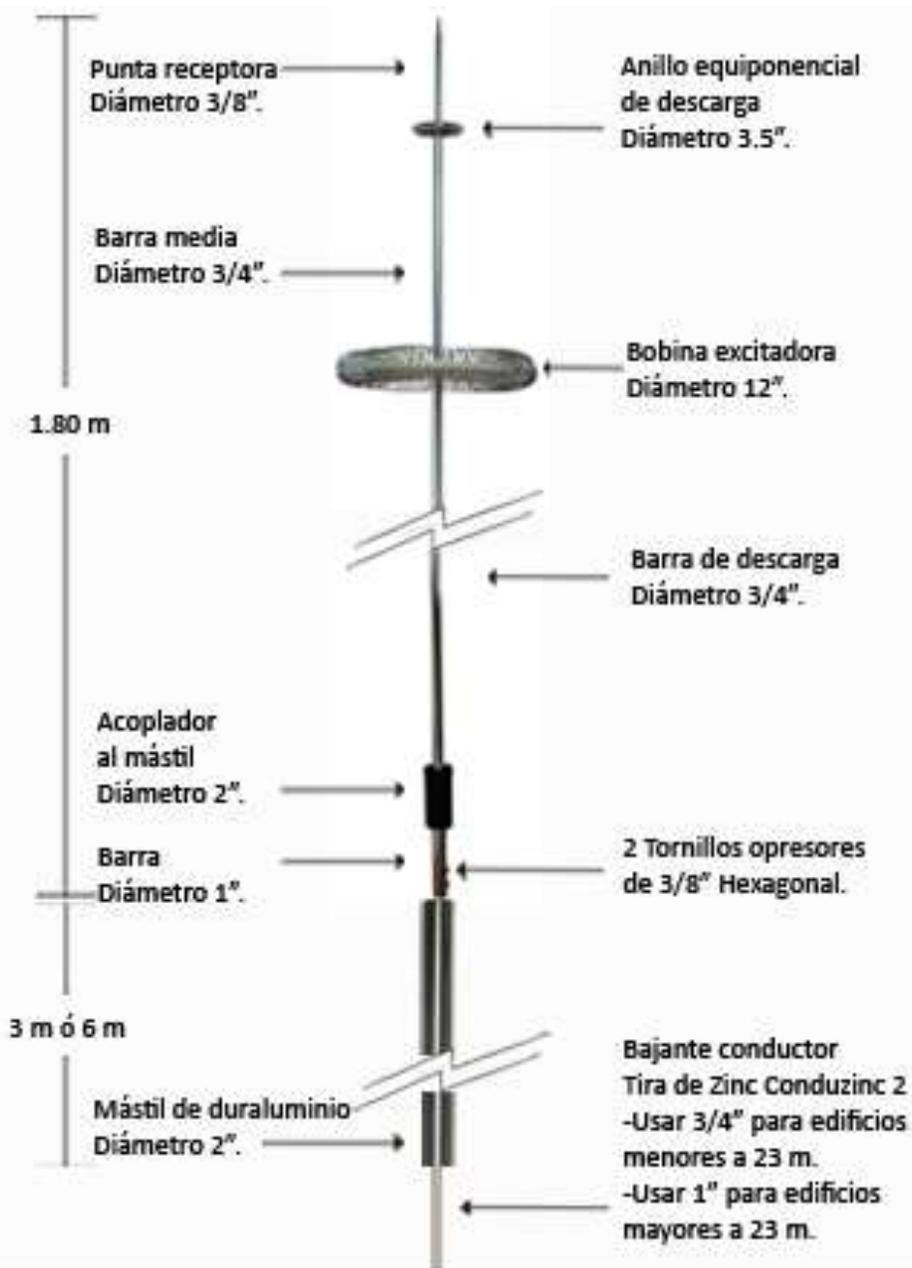


Figura28.- Descripción de pararrayo tipo dipolo.

En una estación de servicio, por las zonas donde se almacenan, manejan o transportan sustancias explosivas o inflamables es importante invertir en un sistema de protección, para poder brindar una seguridad adecuada tanto a los clientes como al personal de trabajo. 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	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
1	Pararrayos tipo dipolo.	Pza.	1	\$ 1,880.00	\$ 1,880.00
2	Base de anclaje y soporte para mástil.	Pza.	1	\$ 3,555.60	\$ 3,555.60
3	Cable de cobre especial pararrayos de 28 hilos calibre 4/0.	m	32	\$ 140.00	\$ 4,480.00
4	Torre para antena de 3 mts.	Pza.	5	\$ 1000.00	\$ 5,000
5	Torre para antena 1.5 mts.	Pza.	3	\$ 1000.00	\$ 3,000.00
6	Caja de conexión	Pza.	1	\$ 3,329.65	\$ 3,329.65
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	\$ 2,997.87	\$ 2,997.87
8	Varilla tipo COPPERWELD de 5/8" de diámetro y 3.00mts de longitud.	Pza.	3	\$ 1,285.00	\$ 3,855.00
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	\$ 1,230	\$ 3,690.00
10	Registro para electrodos de puesta a tierra con tapa.	Pza.	3	\$ 1,300.83	\$ 3,902.49
11	Conexión exotérmica tipo "TA", para calibre 2/0 derivación 2/0.	Pza.	2	\$ 1,735.82	\$ 3,471.64
12	Conexión exotérmica tipo "XA", para calibre 2/0 derivación 4/0.	Pza.	2	\$ 1,772.28	\$ 3,544.56
13	Proyecto de ingeniería				\$ 42,706.81
TOTAL A INVERTIR EN EL PROYECTO:					\$ 42,706.81

Tabla 14. Presupuesto económico de la instalación de un sistema de protección.

4.4 Procedimiento de construcción Herramienta y equipo utilizado.

- Equipo de protección personal
- Escalera de fibra de vidrio no portadora de corrientes
- Identificador de polaridad
- Medidor de resistencia de temperatura mediante punto infrarrojo
- Cinturón y bandola
- Arneses
- Taladros
- Cortadoras
- Rotulador
- Flexómetros
- Desarmadores
- Pinzas
- Cintas de aislar
- Multímetro

1.- Se realizó la colocación de equipo de seguridad a todo el personal que laboro, así mismo se delimito el área de trabajo para así poder trabajar con base a la NOM-019-STPS-2011 Comisiones de Seguridad e Higiene.



Figura 27.- Colocación de EPP

2.- Se realizó instalación de varillas para tierra física tipo cooperweld de 5/8"X3 mts, la colocación de registros de fibra de vidrio así mismo se agregó compuesto GEM que es un material que refuerza la tierra la cual mejora la resistencia del sistema de puesta a tierra.



Figuras 28.- Instalación de varillas para tierra física.

3.- Se realizó la instalación del conductor pararrayos trenzado de cobre de 28 hilos, así mismo se rellenó la excavación que anteriormente se había elaborado.



Figuras 29.- La instalación del conductor pararrayos.

4.- Se realizó dado de concreto con varillas 3/8" electrosoldadas a un perno roscado de 3/4", la resistencia del concreto fue de 200 kg/cm².



Figuras 30.- Se realizó dado de concreto con varillas

5.- Se realizó la instalación de anclas de pared de 70 cm de longitud por ½ "de grosor de acero galvanizado.



Figuras 31.-Instalación de anclas de pared.

6.- Se realizó el ensamble de los primeros 3 tramos de torre TZ30 junto con su base triangular para torre TZ30, así mismo se colocó el primer juego de bridas para sujeción. Los accesorios de las retenidas fueron guardacabo 1/8", nudos para cable tipo perro 1/8" y cable acerado 1/8".



Figuras 32.-Ensamble de los primeros 3 tramos de torre.

7.- Se realizó montaje de Torre Arriostrada TZ30 en dado de concreto con perno ancla roscado de 3/4".



Figuras 33.-Montaje de Torre Arriostrada TZ30.

8.-Se realizó instalación de retenidas a las anclas de pared, así mismo se realizó el tensado de las mismas utilizando tensores tipo viento 3/8”X6”.



Figuras 34.-Instalación de retenidas a las anclas de pared.

9.- Se realizó el montaje del cuarto y quinto tramo de Torre TZ30 y del copete, de igual manera se instaló el segundo juego de bridas y retenidas. Las maniobras se realizaron con base a las normas NOM-009-STPS-2011 Trabajos en Alturas y NOM-017-STPS-2008 Equipo de Protección Personal.



Figura 35.- Montaje de torre TZ30 y copete.

10. Se realizó el armado y la instalación en la torre del Pararrayo tipo Dipolo Corona.



Figura 36.- Armado e instalación de la torre.

11. se realizó la conexión del conductor pararrayo trenzado de cobre 28 hilos en el pararrayo dipolo corona hasta las varilla cooperweld colocando sus accesorios de fijación como lo establece el Artículo 300-11(a) Aseguramiento y soportes (Firmemente sujetos en el lugar.) de la NOM-001-SEDE-2012.



Figuras 37.-Conexión del conductor pararrayo.

12.-Se realizó la bajada de conductor de 28 hilos se le agrego una canalización de tubería PVC tipo pesado de 1/2" esto para seguridad de los usuarios ante descargas atmosféricas, se instaló un desconectador de cobre esto para cualquier mantenimiento a futuro que se realice esto dando cumplimiento al Artículo 300-12 Continuidad mecánica de las canalizaciones y de los cables de la NOM-001-SEDE-2012.



Figuras 38.-Bajada del conductor.

5. RESULTADOS

Se muestra el trabajo finalizado de la instalación de Pararrayos tipo dipolo corona. Los resultados son efectivos y favorables en el diseño e implementación del sistema de protección contra tormentas eléctricas en la estación de servicio.

La instalación del pararrayos con lleva a las mediciones de puesta a tierra de la resistividad de los electrodos, 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.

La medición de resistencia a tierra correspondiente a electrodos de prueba fue realizada con el equipo KIORITSU 4105, calibrado y certificado ante EMA.



Figuras 39.- Pararrayo tipo dipolo corona.



Figura 40.- Conexión del conductor de cobre trenzado de 28 hilos a las varillas cooperweld del sistema puesta a tierra.



Figuras 41.- Medición de resistencia a tierra.

6. CONCLUSIÓN

En este trabajo se describe y aplica la NOM-022-STPS-2015 y la NMX-J-549 a una estación de servicio 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 para poder aumentar la confiabilidad de la estación y seguridad al personal e instalaciones.

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, éstas 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.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2015; Electricidad estática en los centros de trabajo, condiciones de seguridad.
- [2] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012; instalaciones eléctricas (utilización)
- [3] Norma Oficial Mexicana NOM-005-ASEA-2016, Diseño, construcción, operación y mantenimiento de estaciones de servicio para almacenamiento y expedio de diésel y gasolinas.
- [4] NMX-J-549-ANCE-2005. NORMA MEXICANA. Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas – Especificaciones, Materiales Métodos de Medición.
- [5] Gómez, P. y Guevara, B. (2013). Descargas atmosféricas. [Archivo PDF] Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional, México.
- [6] Gutiérrez, M. y Martínez, P. (2017) Análisis del flameo inverso en líneas de transmisión de 400kV utilizando el ATP. (Tesis de Ingeniero Electricista). Instituto Politécnico Nacional, ESIME, México, D. F.
- [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] 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.
- [8] MARIA BELÉN MOGOLLÓN ESCOBAR; Diseño del sistema de puesta a tierra y pararrayos para el edificio " Bloque de aulas ay b " de la escuela politécnica del ejército. (Tesis de Ingeniero Electrónico).

ANEXO A
Carta de aceptación de residencia profesional.



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

CONSULTORIA, COMERCIALIZACION Y SERVICIOS DE INGENIERIA

GLC.JLS-0902-2019

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 la C. María Ashley Matus Fuentes, alumna de Ingeniería Eléctrica con número de control 15160460 es aceptada 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 PARA LA ESTACION DE SERVICIO BRITISH PETROLEUM, DINAMICA DE COMBUSTIBLES, durante el periodo comprendido de Agosto-Diciembre del 2019.

Se extiende la presente a los tres días del mes de Septiembre de 2019.



ATENTAMENTE

ING. JORGE LUIS SUAREZ ZOZAYA
GERENTE DE OPERACIONES

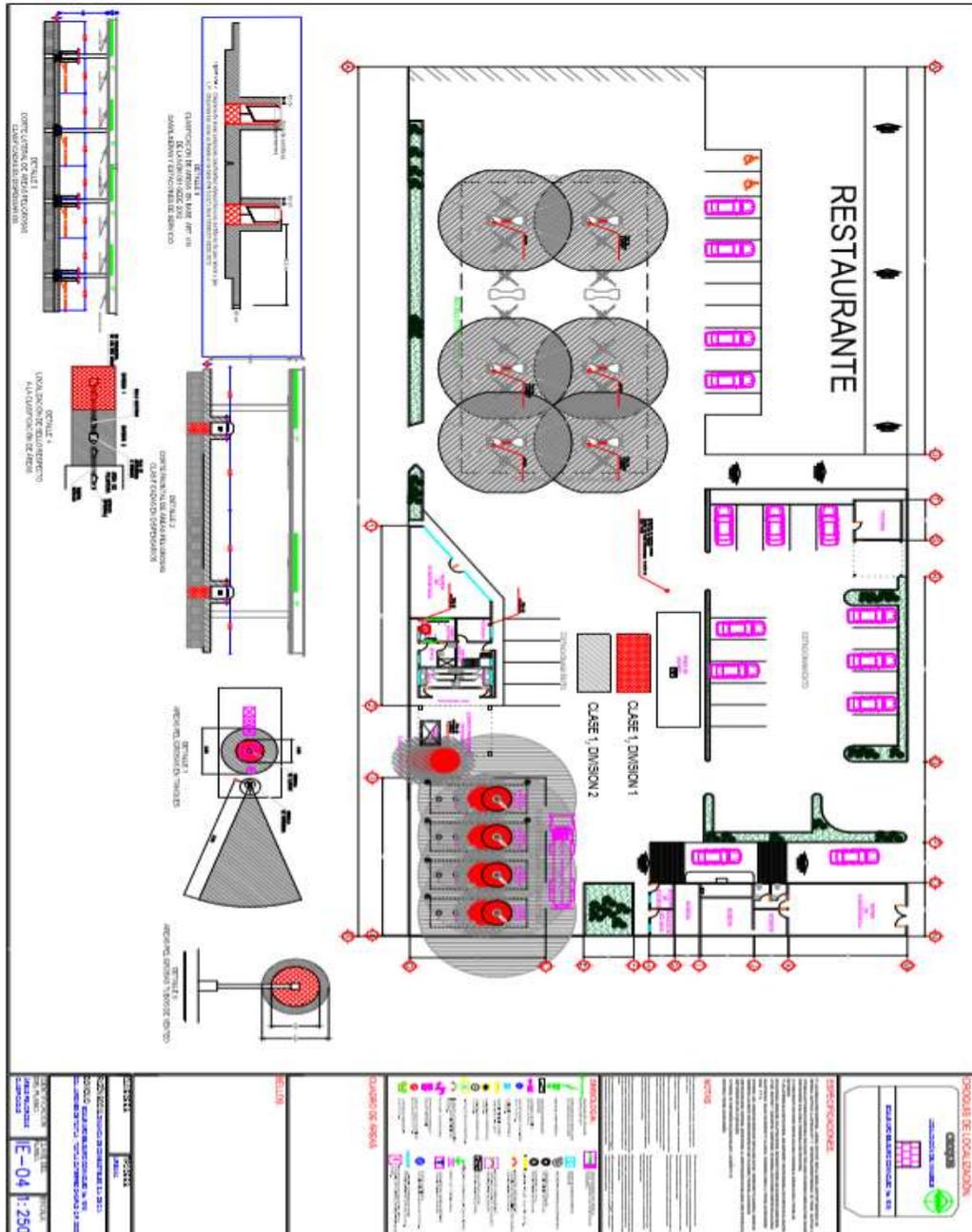


C.c.p. Interesado

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

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

ANEXO C PLANO DE CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS



ANEXO E MAPA DE ISODENSIDAD DE RAYOS A TIERRA 1983- 1993

