

# Boletín 19

## PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

Boletín técnico N° 19  
PARTE 2

Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

## PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

### PARTE 2

Por:

**Ing. Gregor Rojas**  
GERENTE NACIONAL  
MERCADEO Y VENTAS  
División materiales eléctricos

#### 1. Generalidades.

Las descargas atmosféricas son uno de los fenómenos más imponentes de la naturaleza, por lo cual, desde épocas muy antiguas nuestros ancestros, maravillados con este fenómeno, asociaron su origen a una expresión del poder de las deidades.

Miles de años más tarde, el hombre ha podido desentrañar los procesos físicos que originan este fenómeno natural, lo cual ha permitido diseñar sistemas que mitiguen sus impactos.

A lo largo de la historia de la humanidad, diferentes culturas han atribuido las descargas eléctricas atmosféricas a manifestaciones de ira o poder de dioses. Los antiguos griegos, vikingos y de algunas comunidades indígenas ancestrales, quienes asociaron este tipo de fenómenos a castigos divinos enviados por Zeus, Thor o ciertas figuras míticas.

No fue sino hasta la segunda mitad del siglo XVIII que, gracias al trabajo de Benjamin Franklin, se pudo dar una explicación física a este fenómeno, que tiene el potencial de afectar bienes materiales y ocasionar la pérdida de vidas humanas y de animales.

#### 2. Conducción del rayo.

La conducción de la elevada magnitud de la potencia asociada al rayo requiere sumo cuidado en la preparación de los componentes del sistema de descarga, su diseño y su disposición.

Cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las fuerzas mecánicas que se crean.

Los conductores convencionales son alambres o cables de cobre, desprovistos de aislamiento.

Para evitar la producción de arcos laterales es recomendable tener múltiples conductores bajantes. Estos conductores bajantes deben ser colocados de manera que pasen alejados de equipos electrónicos sensibles.

Los cables de bajada que comprende una instalación de pararrayos, están distribuidos por diferentes lugares, normalmente bajan a la vista y sujetos con grapas a la pared, durante la descarga de un rayo se pueden crear arcos eléctricos a estructuras o personas por la diferencia de potencial con riesgo de incendio o muerte de personas.

Es aconsejable que estas instalaciones tengan señalizaciones con indicaciones que prevengan contra el peligro por alta tensión en caso de tormenta y advertir la distancia mínima de contacto.

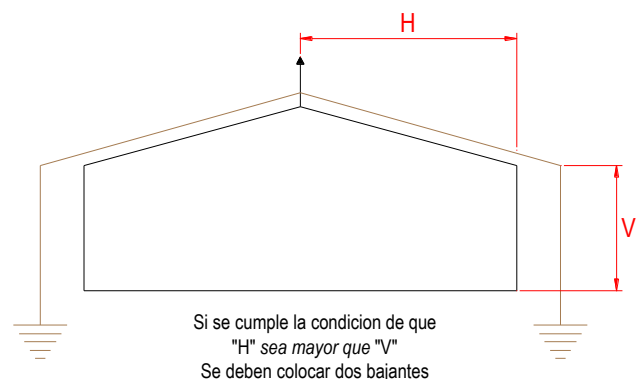


Figura 8. Sistema de dos conductores bajantes

Las dos bajadas se deberán hacer sobre dos fachadas distintas, en la figura 8 se puede observar como descienden los bajantes por fachadas distintas.

Los pararrayos deben contar por lo menos con una trayectoria de bajada. No obstante, son necesarias al menos dos trayectorias de bajada para casos como:

- ❑ Si la proyección horizontal del conductor es superior a su proyección vertical.
- ❑ En el caso de realización de instalaciones sobre edificios de altura superior a 28 mts.

La norma COVENIN 599 establece que los conductores en general deberán colocarse sobre los techos y bajarán por las esquinas y lados del edificio, de tal manera que se forme, tanto como las condiciones del caso lo admitan, una malla que encierre el edificio, los conductores en los techos planos y en superficie planas, donde sea necesario para unir cada punta con todo el resto.

### 2.1 Trayectorias de conductores de bajadas.

Los conductores de bajada se instalarán de manera que su recorrido sea lo más directo posible al punto de puesta a tierra.

Su trazado tendrá en cuenta la localización de la toma de tierra y deberá ser lo más rectilíneo posible, siguiendo la ruta más corta, evitando cualquier arreglo brusco.

La norma COVENIN 599 establece que ningún conductor que rodee una parte del inmueble, tal como un alero, tendrá una curva de radio menor de 20 cms el ángulo de cualquier cambio de dirección no será mayor de 90°, y el conductor en todas partes, conservara la dirección horizontal o de bajada.

Para la desviación de los conductores bajantes emplear predominantemente los codos formados por las esquinas.

En la figura 9 se puede visualizar como serian las curvas que deben adoptar los bajantes de acuerdo a la forma de las estructuras.

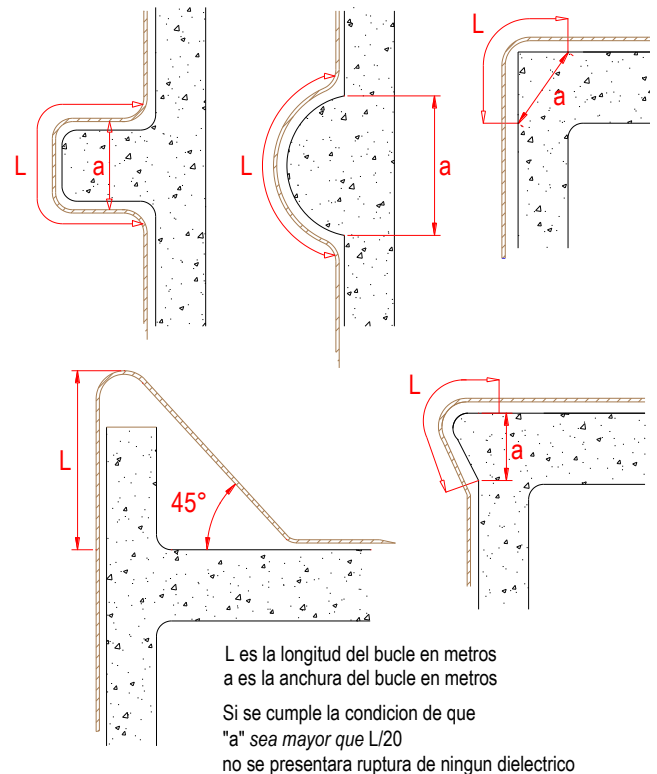


Figura 9. Formas de bajadas de acuerdo a estructuras

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de 1.64 uH/m. A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor.

Por tanto, para los rayos los conductores más largos de 10 m tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que impide que conduzcan la corriente.

Debido a que cada doblez incrementa la reactancia inductiva, estas señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor.

Por tal motivo, es recomendable que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos tengan

grandes curvas en lugar de curvas agudas de pequeños radios.

Por ello, se exhorta a realizar curvas con radios de unos 20 cm y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

Se ha de evitar el contorno de cornisas o elevaciones. Se preverán lugares de paso lo más directos posible para los conductores.

En cualquier caso, se admite una subida de un máximo de 40 cm para franquear una elevación con una pendiente menor o igual a 45 grados.

Al respecto de la trayectoria, el CEN dice que cualquier parte metálica no conductora de corriente a una distancia menor de 1,8 m del cable de los pararrayos debe tener puentes de unión a éste para igualar potenciales y prevenir arcos CEN 250-46.

Las fijaciones de los conductores de bajada se efectuarán tomando como referencia 3 afianzamientos por metro. Estas fijaciones deben ser adecuadas para los soportes y realizadas de forma que no afecten a la impermeabilidad de los techos o tejados.

La norma NFPA 780 3-9-10 establece que las estructuras que excedan 76 mts de perímetro deberán tener un conductor de pararrayos por cada 30 mts.

Los conductores de bajada deben estar protegidos contra eventuales golpes o daños mecánicos, esto se efectúa a través de un tubo de protección hasta una altura superior a 2 mts desde el suelo.

## 2.2 Materiales de conductores de bajadas.

Los conductores de bajada podrán ser pletinas, trenzas, cable trenzado o redondo. La sección mínima ha de ser 50 mm<sup>2</sup>.

Según la norma NFPA 780 3-9 se establece que los conductores que tengan que ser llevados a través del aire a distancias mayores tendrán un soporte seguro que prevenga daños o desplazamientos del conductor.

TABLA 1 VALORES CONDUCTOR BAJANTE		
Material	Observaciones	Dimensiones
Cobre electrolítico desnudo o estañado	Recomendado por su buena conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión	Platina 30 x 2 mm Trenza plana 30 x 3.5 mm Cable trenzado 50 mm <sup>2</sup> (1/0 AWG) Alambre redondo 8 mm (2 AWG)
Acero inoxidable 18/10, 304	Recomendado en ciertos ambientes corrosivos	Platina 30 x 2 mm Alambre redondo 8 mm (2 AWG)
Aluminio A 5/L	Debe ser utilizado sobre superficies de aluminio (barandillas, muros)	Platina 30 x 3 mm Alambre redondo 10 mm (1/0 AWG)

Un anillo de tierra encerrando a una estructura deberá estar en contacto directo con el suelo, a una profundidad no menor de 76 mm. Este anillo debe consistir en no menos de 6,1 mts de longitud de conductor # 2 AWG de cobre.

## 3 Elementos protección contra sobrevoltaje o picos.

Las sobretensiones son elevaciones del voltaje que pueden aparecer en las líneas de distribución eléctrica, datos, comunicaciones o telefonía produciéndose un envejecimiento prematuro de los componentes y/o daños en los equipos conectados a la red.

Los sobrevoltajes transitorios se producen por efectos de las descargas atmosféricas directas, indirectas, desconexión de cargas inductivas como lo son los motores, bobinas, etc., conmutaciones de redes y/o defectos en las mismas.

Los sobrevoltajes son grandes picos de voltaje con una fuerte pendiente y de poca duración, aun así, sus efectos sobre los equipos electrónicos sensibles son devastadores.

El nivel del sobrevoltaje que puede aparecer en la red esta en función del nivel isoceraúnico de la zona lo que representan los rayos / año x Km<sup>2</sup>, del tipo de acometida, aérea o subterránea y de la proximidad del transformador MT/BT.

Para una correcta protección de los equipos, se debe realizar un sistema de puesta a tierra de bajo valor óhmico y conectarlo equipotencialmente con el sistema de protección externa, el cual vimos en el boletín técnico 18. Por otra parte, se deben instalar en las líneas de suministro (energía, telefonía, datos, etc.).

La instalación de protección externa contra el rayo de acuerdo con la norma IEC 62.305-3 y de protectores contra sobretensiones norma IEC 62.305-4, reduce considerablemente el riesgo de sufrir daños producidos por el rayo en las estructuras, equipos y personas.

### 3.1 Categorías de los sobrevoltajes.

Las categorías nos indican cual es el valor de voltaje soportada a onda de choque por el equipo y determinan el valor límite máximo de voltaje (Up) residual que deberán tener los protectores en cada zona.

El objetivo de instalar los protectores es impedir que se produzcan los efectos devastadores de los picos de voltaje sobre los equipos eléctricos y/o electrónicos, recortando dichos picos a valores admisibles, dependiendo de la categoría que tenga el equipo que queremos proteger.

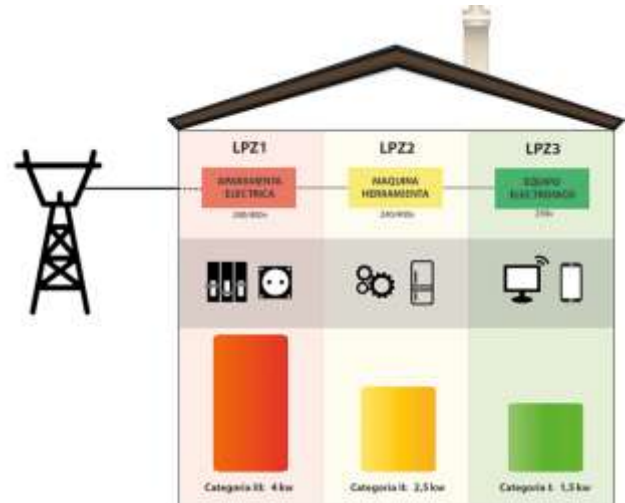


Figura 10. Categoría de protección

En la figura 10 se puede observar las categorías de las protecciones en función de la sensibilidad de los equipos a proteger.

No todos los sobrevoltajes son evidentes y perceptibles, también se producen de menos destacables que no estropean los dispositivos en el momento, pero si van reduciendo su vida útil a mediano plazo.

La instalación de protectores de sobrevoltajes transitorios, garantiza la vida útil y el correcto funcionamiento de las maquinas y dispositivos, tanto a nivel doméstico como de empresa, debido a que cuando se propague el sobrevoltaje el protector realizara su función desviando el pico hacia la toma de puesta a tierra sin cortar el suministro eléctrico de la instalación.

### 3.2 selección protectores contra sobrevoltajes.

Estos protectores son conectados entre un conductor activo (fase) y la tierra, aguas arriba del equipo al que protegen.

Su estado normal es de alta impedancia, pero cuando el sobrevoltaje supera su umbral de voltaje, el protector pasa a un estado de baja impedancia y permite disipar a tierra el sobrevoltaje protegiendo al equipo.

Para seleccionar qué protector instalar, debemos conocer la siguiente información:

- Tensión nominal de la línea.
- N° de fases a proteger.
- Tipo de red (TT, TN, TNC, TNCS).
- Categoría del equipo a proteger.
- Nivel de exposición a las sobretensiones (Imax).

### 3.3 Normativa.

Los dispositivos protección contra sobretensiones transitorias deben estar conformes a las normas:

- IEC 62305-1: Protection against lightning - General principles.
- IEC 62305-2: Protection against lightning – Risk management.
- IEC 62305-3: Protection against lightning – Physical damage to structure and life hazard.
- IEC 62305-4: Protection against lightning – Electrical and electronic systems within structures.

### 4. Sistema de puesta a tierra

El objetivo de todo sistema de puesta a tierra es el de proveer una vía de baja impedancia para que las corrientes de falla o las producidas por fenómenos transitorios, como los rayos, sean descargadas a tierra.

Una puesta a tierra efectiva significa que está conectada a tierra a través de una conexión o conexiones de suficiente baja impedancia y capacidad de conducción de corriente, para impedir los aumentos de voltaje que podrían resultar en peligros o riesgos indebidos y excesivos a personas o al equipo conectado.

Debe entenderse que la “impedancia” total del sistema de puesta a tierra y no su resistencia únicamente, tenga valores bajos que permitan

disipar tanto los elementos de baja frecuencia como los de alta generalmente contenidos en la descarga.

De acuerdo con la norma NFPA-780, el sistema de electrodos para la protección contra descargas atmosféricas depende más de las condiciones del suelo. De ahí que, para estructuras ordinarias menores a 23 m de altura en:

- Arcilla Profunda y Húmeda una simple varilla de 3 m es suficiente.
- Suelo arenoso se requieren dos o más varillas espaciadas más de 3 m.
- Suelo con tierra poco profunda se emplean trincheras radiales al edificio de 5 m de largo y 60 cm de ancho en arcilla. Si la roca está más superficial, el conductor podría colocarse sobre la roca.
- Rocas en un suelo muy poco profundo, un cable en anillo se instala en una trinchera alrededor de la estructura. Para mejorar aún el contacto, es posible colocar placas de al menos 2 pies<sup>2</sup>.

En los sistemas de puesta a tierra, se pueden utilizar los electrodos que se especificados a continuación.

Donde sea práctico, los electrodos fabricados se incrustarán debajo del nivel permanente de humedad.

Donde se use más de un electrodo, cada electrodo de un sistema de puesta a tierra (incluyendo los utilizados como varillas de pararrayos), no estará a menos de 1.83 metros (6 pies) de cualquier otro electrodo de otros sistemas de puesta a tierra.

No se requerirá que el calibre del conductor de cobre del electrodo de puesta a tierra fabricado sea mayor que No. 6 AWG.

#### 4.4.1 Electrodo de Varillas.

Los electrodos de varilla serán de acero o de hierro con revestimiento de cobre, de diámetro mínimo de 1.59 centímetros (5/8 pulgadas) y una longitud mínima de 2.44 metros (8 pies).

Los electrodos de varilla deberán instalarse de manera que no menos que 2.44 metros (8 pies) de longitud estén en contacto con el suelo.

Deben estar enterrados a una profundidad mínima de 2.44 m (8 pies), excepto donde se encuentre roca en el fondo, en cuyo caso el electrodo se instalará o hincará en ángulo, cuya inclinación no exceda los 45° de la vertical.

El extremo superior del electrodo se instalará a ras con el nivel del piso o terreno, a menos que el extremo sobresalga y las conexiones o enlaces del conductor pertenecientes al electrodo de tierra, estén resguardadas y protegidas contra daños físicos.

#### 4.4.2 Electrodo de Placa.

Los electrodos de placa serán de material ferroso o no ferroso, y cada electrodo tendrá una superficie exterior no menor que 0.186 metros cuadrados.

Las placas de hierro o acero tendrán un espesor mínimo de 6.35 milímetros y las de metales no ferrosos un espesor mínimo de 1.52 milímetros. El conductor del electrodo de puesta a tierra se conectará al electrodo por medio de una soldadura exotérmica.

#### 4.4.3 Caja de registro.

La grapa de conexión a la varilla, el conductor del electrodo de puesta a tierra y el extremo superior de los electrodos de varilla, deberán instalarse dentro de un pozo de inspección, con tapa removible, instalado a ras con el piso terminado o con el suelo natural a objeto de poder realizar las mediciones de la puesta a tierra con los equipos requeridos.

El pozo de inspección deberá ser cuadrado con dimensión mínima de 20 centímetros x 20 centímetros, o circular con diámetro interno mínimo de 20 centímetros y tendrá una profundidad de 15 centímetros.

Para facilitar su prueba y mantenimiento, los pozos de inspección de los electrodos de puesta a tierra deberán estar localizados en lugares fácilmente accesibles, cercanos al medio principal de desconexión.

Cada servicio eléctrico individual o acometida, deberá tener una puesta a tierra, la cual se unirá al neutral de la red, a su llegada a la caja del medidor o en el Interruptor principal o equivalente.

Las cubiertas protectoras de los cables eléctricos, tales como hilos o cintas de cobre, plomo, acero, etc., se conectarán a tierra, para evitar en tales materiales la presencia de un potencial superior al de tierra.

La conexión de puesta a tierra será permanente, continua y tendrá capacidad suficiente para conducir cualquiera de las corrientes que le puedan ser impuestas y será de impedancia suficientemente baja, tanto para limitar el potencial sobre tierra, como para facilitar el funcionamiento de los dispositivos de sobrecorriente del circuito.

Los electrodos deberán tener una resistencia a tierra que no exceda 25 ohm. Cuando no se pueda lograr esta resistencia a tierra con un solo electrodo, se instalarán otros electrodos hasta conseguir la resistencia indicada.

Se recomienda probar la resistencia de las tierras al instalarse el sistema y repetir la prueba periódicamente cuando esté instalado.

La norma NFPA 780 29-B-1.2 establece que se debe realizar inspección visual una vez por año y comprobar las conexiones de alta resistencia y posibles alteraciones de los componentes.

De igual forma, la norma NFPA 780 37 I-1.1 establece que se debe realizar inspección de la resistividad del suelo con una periodicidad anual y comprobar que su valor sea menor o igual a 5 ohms.

### **5. El Diseño sistema de protección contra descargas atmosféricas.**

Se tomará en cuenta el índice de riesgo, según algunas características contempladas en las normas COVENIN 599-73-CODELECTRA E5-01-72-ARTICULO 226. Es importante asegurar que se tiene un solo punto de puesta a tierra eléctrico.

Por lo tanto, todos los componentes del sistema deben estar debidamente conectados, y así formar un sistema equipotencial. Con lo cual se elimina la posibilidad de daños ocasionados por diferencias de potencial inadvertidas.

Cada tierra individual de pararrayos, telecomunicaciones, y salas de equipos debe ser de alta integridad, auto suficiente, y debe ser considerado como parte de un todo para el sistema integral de puesta a tierra de la instalación que se desea proteger.

En los casos en que haya tierras separadas todas deben ser conectadas entre sí para formar una sola tierra equipotencial con lo que se eliminan posibles lazos que presenten voltajes peligrosos durante fenómenos transitorios.

Es recomendable que las conexiones entre conductores y entre conductores de tierra y partes metálicas de las estructuras se realicen mediante soldadura exotérmica, por la calidad superior de la unión resultante, comparada con cualquier otro tipo de unión por medios mecánicos conocido tales como: grapas, conectores apernados, etc.

#### **5.1 Protección de los Equipos**

No se trata de simplemente colocar protección contra incidencias directas de rayos en todas las entradas del edificio o la vivienda.

Para una protección realmente efectiva se requiere que los terminales principales de las entradas del servicio de electricidad estén provistos de dispositivos pararrayos (Surge Protection Devices SPD conocidos como Supresores de Voltajes Transitorios (Transient Voltage Surge Arrestors – TVSS).

#### **5.2 Protección de la entrada de servicio**

La incursión de la electrónica en los sistemas eléctricos con la incorporación de los microprocesadores y el uso diario y habitual de equipos electrónicos, incrementa la susceptibilidad de daños causados por sobretensiones de manera considerable.

Actualmente este inconveniente con la cantidad de energía de los rayos puede producir daños irreparables en los circuitos integrados que normalmente constituyen parte de los equipos de hoy.

Las averías a los centros de control de motores, equipos controlados por micro procesadores, equipo de oficinas como calculadoras, computadores y de control variable de velocidad motores son más que indiscutibles.

Además hay otras consecuencias como aceleración del proceso de degradación, afectación de la vida útil, y pérdida de información. En muchos casos, se han registrado incendios y pérdidas de vidas por los rayos.

Para evitar estos inconvenientes es aconsejable proteger las entradas contra los efectos de sobretensiones, causados contra dichos fenómenos transitorios mediante la instalación de “Supresores de Impulsos” o pararrayos debidamente seleccionados.

Para proteger las líneas entrantes utilizadas para la transmisión de datos contra la incidencia de rayos (descargas atmosféricas), se debe instalar



barreras protectoras de alta velocidad con el fin de limitar los voltajes producidos.

Esta protección no constituye garantía de que su equipo resultará cien por ciento protegido, pero contribuye a aumentar las probabilidades que el equipo no sufra daño.

La protección los sistemas de bajo voltajes recolección y procesamiento de datos para redes locales de computadores, sistemas industriales de SCADA, teléfonos, MODEM's, requieren que el voltaje sea fijado a niveles tolerables por los circuitos de los sistemas electrónicos sensitivos.

Este tipo de protección utiliza circuitos híbridos de protección de etapas múltiples. Para ello se requiere instalar dispositivos supresores de voltajes transitorios (impulsos)/TVSS: (Transient Voltage Surge Supresor) con capacidad adecuada para las magnitudes de energía involucradas en el fenómeno (capacidad en kA) de la descarga eléctrica incidente y los gradientes de voltaje y de corriente asociados

### 5.3 Niveles de protección.

Según la norma NF C 17-102 y la norma UNE 21186-96 proyectaremos para tres niveles de protección:

**Nivel I:** Nivel de máxima seguridad. Recomendado en edificios y lugares de pública concurrencia, alto número de impactos de rayos/año, zonas aisladas, etc.

**Nivel II:** Nivel de Alta seguridad: Recomendado para la protección de personas y estructuras con un índice de impactos de rayos/año medio-bajo, zonas en núcleos urbanos, etc.

**Nivel III:** Nivel de seguridad estándar. Se recomienda este nivel para la protección de estructuras en zonas de bajo nivel de impactos/año, estructuras poco elevadas, etc.

Nota: Se recomienda por seguridad proyectar con nivel I.

### 5.4 Protección contra descargas atmosféricas

Un diseño de protección contra descargas atmosféricas se realizará con la siguiente metodología:

1. Estudio previo para determinar el nivel de protección.
2. Establecer el área y la altura del edificio que se va a proteger.
3. Ubicar el pararrayos en el punto más alto del edificio.
4. Trazar en el plano los radios de protección del pararrayos.
5. Hacer trayectorias de bajadas del conductor a tierra.
6. Seleccionar los conductores y electrodos de tierra.

### 5.5 Estudio previo para determinar nivel de protección.

Este estudio será realizado para determinar el nivel de protección que se requiere para cada estructura en particular. El conjunto de información necesaria para realizar la evaluación se describe a continuación:

- A. Dimensiones de la estructura.
- B. Posición geográfica de la estructura: en la cima de una montaña, junto con otras construcciones más altas, u otras más bajas, aislada, etc.
- C. Frecuencia de ocupación de la estructura por personas.
- D. Riesgo de pánico.

- E. Dificultad de acceso.
- F. Continuidad de servicio.
- G. Contenido de la estructura.
- H. Forma e inclinación de los techos.
- I. Naturaleza del techo.

### **5.6 Establecimiento del área y altura del edificio que se va a proteger.**

El área y la altura del edificio que se va a proteger nos valen para calcular la altura y el lugar donde se instalará el pararrayos y determinar el número de conductores de bajada

### **5.7 Ubicación del pararrayos.**

El pararrayos se ubicará de la forma siguiente:

- Se instalará en la parte más alta del edificio
- Se ubicara de manera que los radios de protección del pararrayos cubran completamente el edificio y las estructuras que formen parte de éste.

### **5.8 Trazar en el plano los radios de protección del pararrayo**

El área protegida por el pararrayos, será aquella que se encuentre dentro de la esfera que se forma al trazar los radios de protección del pararrayos a diferentes distancias de la punta receptora. Esta esfera de protección será de acuerdo al modelo electromagnético del pararrayos ionizante.

### **5.9 Equipotencialidad de las masas metálicas.**

Se deberá realizar la unión equipotencial entre los conductores de bajada y las partes metálicas que estén a una distancia menor de la de seguridad.

La distancia de seguridad es la distancia mínima entre un conductor de bajada por el que pasa la corriente del rayo y una masa conductora próxima unida a tierra, en la que no hay formación de chispas peligrosas.