

EVALUACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS PARA EL CAPS CANDELARIA

OBJETO: Este proyecto tiene como objetivo principal evaluar el nivel de riesgo contra descargas atmosféricas, y a la vez diseñar un sistema de protección que cumpla con cada uno de los artículos estipulados en las normas técnicas colombianas NTC 4552 (1-2-3). Ofrecer un sistema confiable para protección contra rayos y descargas atmosféricas Según lo establecido en la resolución No. 9 de agosto 30 del 2013, en el Artículo 9° Análisis de Riesgos contra RAYOS, “la persona calificada responsable de la construcción de una instalación eléctrica debe evaluar el nivel de riesgo asociado a dicha instalación, teniendo en cuenta los criterios establecidos en las normas sobre soportabilidad de la energía eléctrica para seres humanos.” [12] según lo anterior es necesario realizar un estudio previo conocido como análisis de riesgo que permite determinar si es necesario un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, el cual se hace obligatorio para edificaciones con alta concentración de personas definido allí con un número de 50 o más personas como es el caso del edificio de CAPS de DANUBIO.

ALCANCE: Para el diseño del Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas del edificio de CAPS CANDELARIA se analizará primero el nivel de protección que necesita la edificación teniendo en cuenta datos como tipo de material de construcción, si cuenta con un sistema de apantallamiento o no, tipo de cubierta, entre otros. Los cuales permitirán por medio del software IEC Risk, obtener el nivel de protección necesario para proteger la edificación. Este Nivel de protección permitirá realizar el diseño del sistema de protección el cual se hará por medio del Método de la Esfera Rodante, el cual consiste en rodar esferas imaginarias que giraran por toda la edificación, demarcando la zona de protección contra el rayo logrando determinarse así la ubicación y la cantidad de puntas de captación necesarias para el diseño del sistema de protección externo.

1. INTRODUCCIÓN

La descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera. Si la base de la nube está cargada negativamente, atrae cargas positivas de la tierra que está debajo. La diferencia de potencial aumenta hasta que tiene lugar una repentina descarga, el rayo, que neutraliza de nuevo las cargas en la nube y la tierra.

Este fenómeno natural en una edificación, hace que circulen grandes flujos de corriente en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conecten dos zonas aisladas; en determinada zona, una nube cargada electrostáticamente puede causar una diferencia de potencial permitiendo que dichas corrientes fluyan libremente generando una liberación de energía de forma luminosa y sonora comúnmente conocida como descarga eléctrica atmosférica provocando daños en la infraestructura y hasta la muerte a personas.

Una descarga eléctrica atmosférica puede causar daños dependiendo de las características del objeto a proteger; entre las más importantes se tiene: el tipo de construcción, contenido y aplicación, tipo de servicio y medidas de protección instaladas, [3].

En la primera parte de la elaboración de este proyecto se establecerá un procedimiento para la valoración de la necesidad de implementar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, esto se hará con la simulación del Software IEC Risk Assessment Calculator que evaluará el riesgo y la necesidad de implementar un sistema de protección analizándose los costos de implementarlo y los daños que causaría en la edificación. Una vez se obtiene la evaluación de riesgo de la estructura se selecciona las medidas de protección apropiadas que se adoptaran para reducir los riesgos existentes y el respectivo diseño del sistema de protección.

En el EDIFICIO DE CAPS CANDELARIA se evidencia que es necesario implementarlo debido al riesgo eminente que corre la edificación y las personas que laboraran y ocuparan en dicho edificio, cumpliendo de esta forma con la normatividad y las leyes nacionales e internacionales que hacen obligatorio adoptar medidas de protección para edificaciones de más de tres pisos como las normas colombianas NTC 4552 -1, NTC 4552 -2 y la NTC 4552 -3.

2. MARCO TEÓRICO

La mayor incidencia de descargas atmosféricas que se dan a nivel mundial, según estudios, se dan principalmente en África central, norte de Australia y América central. Colombia por encontrarse situada en una zona de confluencia intertropical, presenta una alta actividad de descargas atmosféricas durante todo el año; Según la norma técnica colombiana NTC 4552-1 (principios generales), la densidad promedio de descargas a tierra en BOGOTA es de 4, lo que indica que esta ciudad es una de las más propensas a este tipo de fenómenos, [1].

Las descargas atmosféricas pueden causar enormes daños materiales a infraestructuras o incluso pueden acabar con la vida de las personas o animales al momento de impactar sobre cualquier estructura; los daños por lo general son más numerosos, acompañados de cuantiosas pérdidas económicas.

Siendo las descargas atmosféricas un fenómeno natural, se convierten en sucesos los cuales no se pueden eliminar de ninguna manera. Son inevitables los daños que pueden causar en una estructura y muy difícil determinar el lugar donde caerán; por lo tanto, dicha energía no se puede controlar, pero si se puede desviar de forma controlada ayudando a que este fenómeno no cause daño alguno. Esto se puede lograr mediante un sistema de protección externo (SPE) que recibe la energía del rayo y la lleva hacia la tierra.

2.1 DEFINICIÓN DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (RAYO)

Son fenómenos meteorológicos consistentes en descargas eléctricas engendradas en el interior de un condensador natural que se propagan a través de un dieléctrico como es el aire. – un dieléctrico es una sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortigua la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

Según el origen y destino de estas descargas en la atmosfera terrestre, se clasifican en cuatro grupos:

-) Descarga entre nube y tierra
-) Descarga dentro de una misma nube (intranubes)
-) Descargas entre una nube y otra nube (internubes)
-) Descargas entre una nube y la ionosfera

La primera suele causar un daño o perdida más frecuente en los sistemas antrópicos por lo que suponen una situación de riesgo que merecen un especial interés. Los tres tipos restantes representan una peligrosidad mayor a los aviones



Ilustración 1. Descarga de nube a tierra (Rayo).

Fuente: Las emergencias Rayos y relámpagos
[5]
(Descarga de nube a tierra)



Ilustración 2. Descarga entre nubes (Relámpago)

Fuente: Las emergencias Rayos y relámpagos
[5]
(Descarga entre nubes)

De todos estos cuatro casos, el primero es el único que podemos hablar propiamente de rayo, ya que los tres casos restantes son los que se conocen y se denominan como relámpagos. Por tanto, se define como rayo exclusivamente la descarga eléctrica que se produce entre una nube y la superficie de la tierra. Los relámpagos por su parte no conllevan ningún otro tipo de peligrosidad asociada para el hombre, a excepción del caso mencionado de los aviones en vuelo, calculándose una aparición de estas descargas entre nubes es del 80% mayor que la de los rayos, que se derivan a tierra [5]

2.1.1 Formación de Rayo

Las nubes que dan lugar a descargas atmosféricas son los cúmulos y los cumulonimbos.

Siendo el Rayo una descarga eléctrica de origen atmosférico provocado por la acumulación de partículas de vapor de agua en el interior de la nube. La presencia de campo eléctrico atmosférico hace que las gotas de agua tengan carga positiva en su parte inferior y carga negativa en su parte superior; convirtiéndose la nube en un gran generador de carga electrostática.

Aquí se produce un fenómeno de polarización de carga, situándose generalmente, las cargas negativas en la base de la nube y las positivas en la parte superior de la misma.

]

A medida que la parte inferior de la nube se va acercando a la tierra, las cargas negativas presentes en la base de esta, inducen sobre la tierra una carga igual, pero de signo contrario. En estas condiciones el conjunto nube-tierra junto con la capa situada entre las dos que es de naturaleza aislante (dieléctrico), se podría asimilar a una especie de enorme condensador electro-atmosférico (ilustración 4). [6]



Ilustración 4. Formación de una descarga eléctrica atmosférica

Fuente: *(Formación del rayo)*. [6]

En la capa de aire existente entre la nube y tierra se crea un campo eléctrico con diferencia de potencial que es la causa principal de la formación de la descarga.

De la parte inferior de la nube, donde la concentración de cargas negativas es mayor, se inicia una primera descarga en forma de impulso que seguirá un camino tortuoso y ramificado. Las cargas avanzan a impulsos sucesivos separados por pausas muy breves.

Cuando una descarga se acerca al terreno, surge de este una concentración de cargas eléctricas en sentido ascendente y de signo contrario al potencial del rayo. A medida que la nube se acerca a la tierra, va disminuyendo el espesor del dieléctrico de aire que les separa, hasta que llega un momento en que el gradiente alcanza la tensión de ruptura de aquel. En este momento se produce la descarga a través de la vía de aire ionizado, o túnel perforado en el dieléctrico. En punto crítico, se produce el encuentro entre las descargas negativas procedentes de la nube con las positivas que provienen del suelo y se origina la descarga principal.

Ese punto se denomina punto de discriminación y la distancia se encuentra generalmente entre los 15 y los 50 metros, distancia de impacto. [6]



Ilustración 5. Punto de Impacto.

Fuente: *(Punto de discriminación o impacto)*. [6]

El rayo es realmente el intercambio de cargas entre nube y tierra. Este intercambio lleva a la neutralización de ambas cargas y a la disipación de parte de la energía previamente acumulada por la nube.

En la descarga de retorno, que adquiere luminosidad intensa y da lugar al trueno, la corriente alcanza los valores más altos para los cuales han de calcularse las protecciones destinadas a salvaguardar los edificios. [6]

2.2 PARÁMETROS DEL RAYO

2.2.1 RAYOS A TIERRA

Existen dos tipos de descargas eléctricas atmosféricas o rayos:

-) Descargas descendentes iniciadas por un líder descendente nube – tierra.
-) Descarga ascendente iniciadas por un líder ascendente de una estructura aterrizada a nube.

En territorios planos y estructuras generalmente se presentan descargas descendentes, mientras que para estructuras altas dominan las descargas

ascendentes. Con estructuras altas la probabilidad de impacto se incrementa y cambia las condiciones físicas.

Un rayo consiste de una o varias descargas (strokes)

-) Descargas de corta duración, menores de 2ms (según se muestra en la ilustración 6)
-) Descarga de larga duración, mayores de 2ms (según se muestra en la ilustración 7)

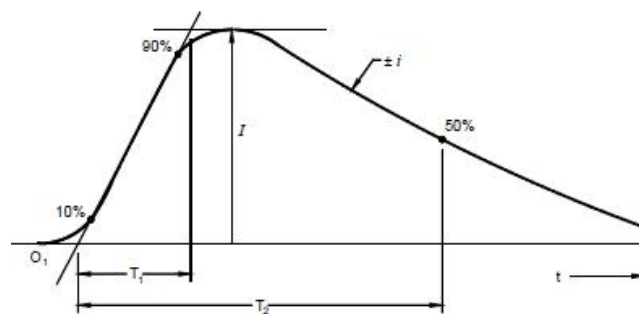


Ilustración 6. Definiciones de parámetros de impacto corto

Fuente: NTC 4552-1. [2]

O_1 = Origen virtual I

= Corriente pico

t_1 = Tiempo de frente

t_2 = Tiempo al valor medio

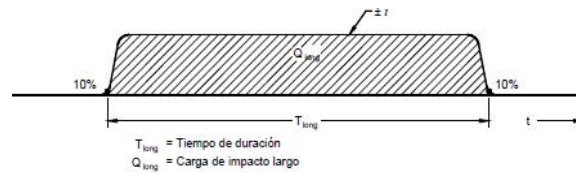


Ilustración 7. Definición de parámetros para descargas largas.

Fuente: NTC 4552-1. [2]

Además de las diferentes descargas se debe de tener en cuenta la polaridad del rayo y la posición durante la descarga (primera, subsecuente, sobrepuesta)

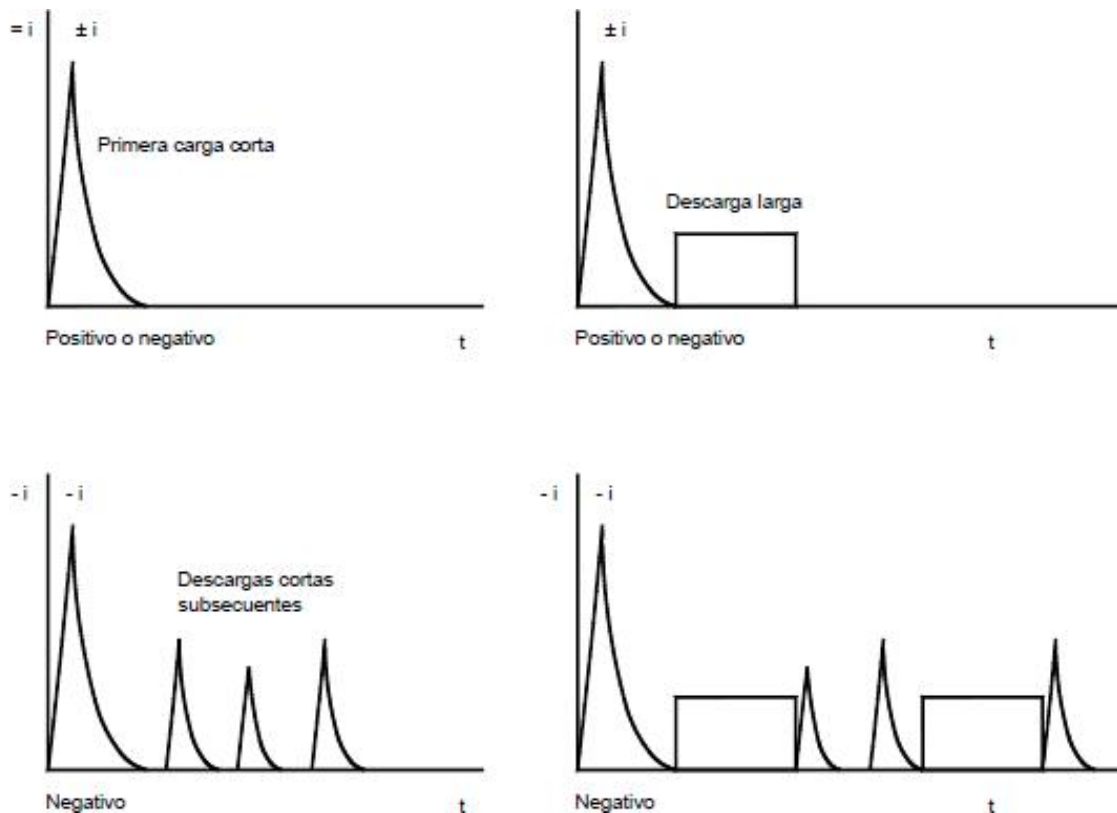


Ilustración 8. Posibles componentes de descargas descendentes (típicas en territorios planos y estructuras bajas).

Fuente: NTC 4552-1. [2]

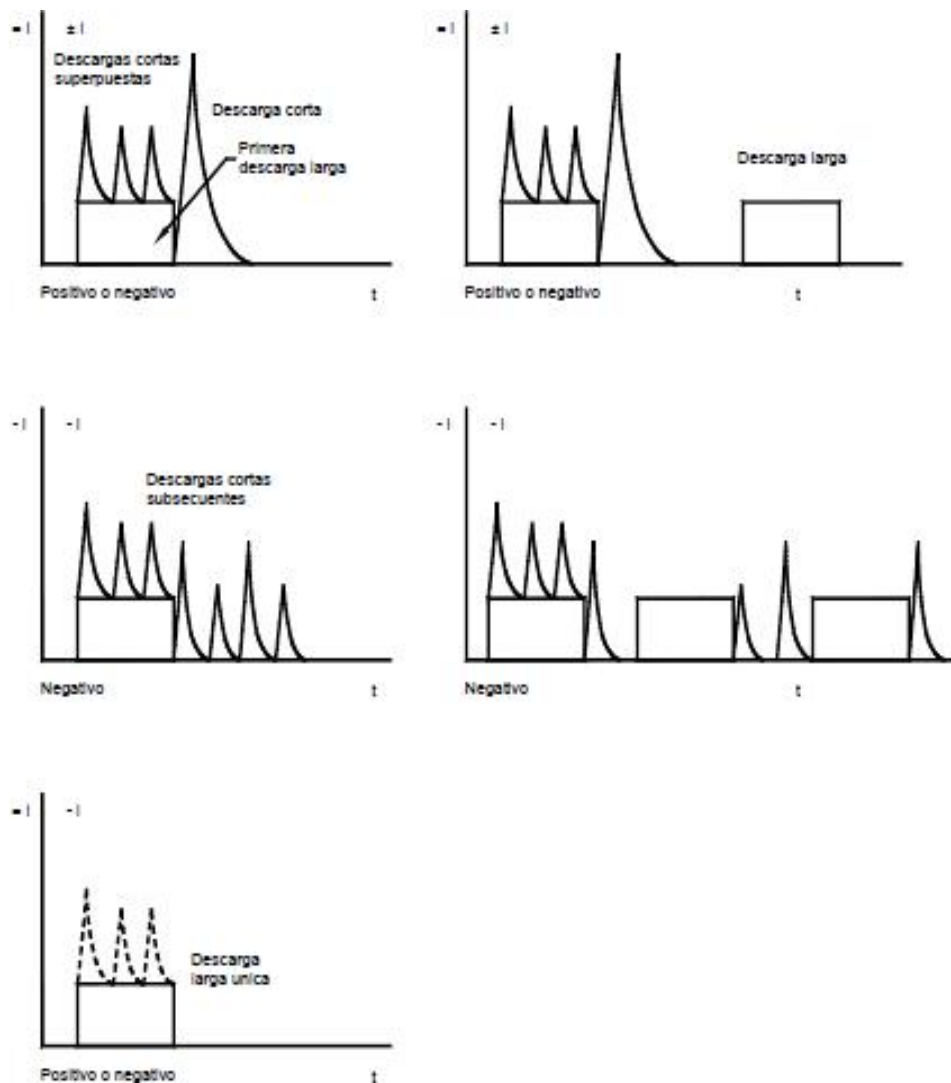


Ilustración 9. Posibles componentes de descargas ascendentes (típicas para estructuras expuestas y/o altas)

Fuente: NTC 4552-1. [2]

2.2.2 DAÑOS PROVOCADOS POR UNA DESCARGA ATMOSFÉRICA

Daños a estructuras El rayo que afecta a una estructura puede causar daño a la estructura misma, a sus ocupantes y a su contenido, incluyendo fallas en sistemas internos. Los daños y las fallas pueden extenderse a los alrededores de la estructura, incluso pueden envolver el medio ambiente local. La escala de esta extensión depende de las características de la

estructura y de las características de la descarga eléctrica. [2]

2.2.2.1 Efecto del rayo sobre una estructura

Las principales características de la estructura respecto a los efectos del rayo incluyen:

Construcción (madera, ladrillo, concreto, concreto reforzado, construcción en marco de acero)

Función (vivienda, oficina, granja, teatro, hotel, escuela, hospital, museo, iglesia, prisión, almacén grande, banco, fábrica, planta industrial, áreas deportivas).

Ocupantes y contenido (personas y animales, presencia de materiales combustibles o incombustibles, materiales explosivos o no explosivos, sistemas eléctricos y electrónicos con resistencias a la baja o alta tensión).

Acometidas entrantes (líneas de energía, líneas de telecomunicaciones, tuberías).

Medidas de protección (ej. Las medidas de protección reduce los daños físicos y el peligro de perder la vida, la protección reduce las fallas de sistemas internos)

Grado de extensión del peligro (estructuras con dificultades de evacuación o estructura donde el pánico puede ser creado, estructura peligrosa a los alrededores, estructuras de ambiente peligroso)

Tipo de estructura según la función y/o el contenido	Efectos del rayo
Casa de habitación	Perforación de instalaciones eléctricas, fuego y daños materiales Daño limitado normalmente a los objetos expuestos al punto de toque o a la trayectoria de la corriente del rayo. Falla de equipo eléctrico y electrónico y de sistemas instalados (ej. Sistemas de TV, computadoras, módems, teléfonos, etc.)
Edificación rural	Riesgo primario de fuego y tensiones de paso peligrosos, así como daño material. Riesgo secundario causado por pérdida de energía eléctrica, y peligro de vida del ganado debido a la falta de control electrónico de sistemas de ventilación y de suministro de alimentos, etc.
Teatro, Hotel, Escuela, Almacén grande, Área deportiva	Daño de instalaciones eléctricas (ej. iluminación eléctrica) probablemente causa de pánico. Falla de alarmas contra incendio, dando por resultado retrasos en las medidas de extinción del fuego
Banco, Compañía de seguros Centros comerciales, etc.	Situaciones como las anteriores, más problemas resultado de pérdida de comunicación, falla de computadoras y pérdida de datos
Hospital, Clínica de reposo, Prisión	Situaciones como las anteriores, más complicaciones con las personas en cuidados intensivos, y dificultades de rescatar a gente inmóvil.
Industria	Efectos adicionales dependiendo del contenido de la fábricas, extendiéndose de menor importancia por daño inaceptable y pérdida de la producción.
Museos y sitios arqueológicos Iglesias	Pérdida de patrimonio cultural irremplazable.
Telecomunicaciones, Centrales eléctricas	Pérdidas inaceptables de servicio al público.
Fábrica de fuegos artificiales Trabajos con municiones	Fuego y explosión de la planta y a sus alrededores.
Planta química, Refinería Central nuclear, Laboratorios bioquímicos y plantas	Fuego y mal funcionamiento de la planta con consecuencias perjudiciales al ambiente local y global.

Tabla 1. Efecto de los rayos sobre estructuras típicas.

Fuente: NTC 4552-1. [2].

2.2.2.2 Fuentes y tipos de daños de una estructura

La corriente de rayo es la fuente del daño. Las siguientes situaciones son consideradas dependiendo de la posición del punto de impacto a la estructura:

- S1 Impacto a la estructura
- S2 Impacto cerca de la estructura

S3 Impacto al servicio entrando a la estructura

S4 Impacto cerca al servicio entrando a la estructura

Los rayos que impactan a la estructura pueden causar:

Daño mecánico inmediato, fuego y/o explosión causado por el arco caliente ionizado del rayo, o causado por la corriente de rayo que origina calentamiento resistivo de los conductores, o causado por la carga que origina un arco corrosivo (metal derretido).

Fuego y/o explosión iniciado por chispas, causas por sobretensiones resultantes de acoples inductivos o resistivos y por el paso de parte de la corriente de rayo.

Lesiones a personas por tensiones de paso y de contacto resultado de acoples resistivos e inductivos.

Fallas o mal funcionamiento de sistemas internos causados por sobretensiones transmitidas a la estructura por líneas entrantes.

Los rayos que impactan cerca de la acometida entrante a la estructura puede causar:

Falla o mal funcionamiento de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas y transmitidas por líneas entrantes a la estructura.

Como resultado, el rayo puede causar tres tipos básicos de daños:

D1 lesiones a los seres vivos, causadas por tensiones de contacto y de paso.

D2 Daños físicos (fuego, explosión, destrucción mecánica, escape químico) causados por efectos de la corriente de rayo incluyendo chispas.

D3 fallas de sistemas internos causados por IER.

2.3 PROTECCIÓN CONTRA LA CAÍDA DE RAYOS.

Para poder derivar sin problemas la gran energía de un rayo es preciso responder a altas exigencias en cuanto a las instalaciones eléctricas de edificios, facilitando una derivación segura del rayo al subsuelo. Por este motivo se disponen en los edificios instalaciones de protección. La protección contra rayos es tan compleja que va más allá de la simple instalación de los terminales de captación o de un circuito de protección, [7].

Hasta hace relativamente poco tiempo, poco se podía hacer para minimizar los riesgos que se producían por la caída directa de un rayo. Cuando ocurrían y donde ocurrirán descargas eléctricas atmosféricas. Tradicionalmente, la protección contra

rayos ha pretendido atraer y desviar la energía de una descarga eléctrica atmosférica hacia la tierra física. Al mismo tiempo que esto puede eliminar algunos de los graves efectos de un impacto directo, resultan otras desventajas y serios inconvenientes, [7].

Ninguno de los sistemas tradicionales son 100% efectivos, y todos ellos son afectados por los efectos secundarios en relación a la proximidad con los campos electrostáticos y campos electromagnéticos. Todos ellos son peligrosos, especialmente, en áreas donde se manejan productos inflamables o explosivos y equipos electrónicos, [7].

Se puede establecer una clasificación de tres niveles de protección contra los efectos de los rayos tanto efectos directos como secundarios:

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

En este caso solo es de interés la protección primaria, [7].

2.3.1 Protección primaria

La función de las protecciones primarias es la de evitar los daños producidos en la infraestructura de los edificios e instalaciones debidos al impacto directo de una descarga atmosférica. Estos daños suelen venir en forma de incendios y electrocuciones, debido a la enorme cantidad de energía contenida en el rayo en el momento del impacto. Estos daños son aún más importantes en aquellas zonas en las que se almacenen o manipulan materiales inflamables o radiactivos.

1. PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA DEL SIPRA.

La configuración del sistema de puesta a tierra del SIPRA del edificio de CAPS CANDELARIA se seleccionó teniendo en cuenta el capítulo 4 de la norma IEEE142 para una configuración de dos varillas de electrodo de puesta a tierra de 2.4m de longitud y una separación entre ellas de 3 metros aplicando la siguiente expresión matemática de la tabla 4.5 para la resistencia de puesta a tierra así:

Resistividad del terreno medida en sitio: $\rho = 48.10$ Ohmios /metro

Tipo A: dos electrodos

Dónde:

$L = 2.4$

$s = 3m$

$a = 1.5m$

$$R = \frac{\rho}{2L} f \ln \left(\frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4s} f \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right)$$

$$R = \frac{48.10}{2 * 2.4} f \ln \left(\frac{4 * 2.4}{1.5} - 1 \right) + \frac{48.10}{4 * 3} f \left(1 - \frac{2.4^2}{3 * 3^2} + \frac{2 * (2.4)^4}{5 * (3)^4} \right)$$

$$R = \frac{48.10}{2 * 2.4} f \ln \left(\frac{4 * 2.4}{1.5} - 1 \right) + \frac{48.10}{4 * 3} f \left(1 - \frac{2.4^2}{3 * 3^2} + \frac{2 * (2.4)^4}{5 * (3)^4} \right)$$

$$R = 3.18 f (1.85 - 1) + 1.27 f \left(1 - 0.21 + \frac{33.17}{405} \right)$$

$$R = 3.18 f (0.85) + 1.27 f (0.87)$$

$$R = 2.7 + 1.10$$


$$R = 3.8$$

Este valor se encuentra por debajo se encuentra por debajo de los 10 ohmios de la tabla de valores de referencia para sistemas de puesta a tierra del RETIE del capítulo 15 por consiguiente SI CUMPLE.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA
Estructuras y torrecillas metálicas de líneas o redes con cable de guarda	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Valores Referencia De SPT

Table 4-5—Formulas for the calculation of resistances to ground

	Hemisphere radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	One ground rod length L , radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• •	Two ground rods $s > L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• •	Two ground rods $s < L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	Buried horizontal wire length $2L$, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	Right-angle turn of wire length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
Y	Three-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	Four-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
*	Six-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
*	Eight-point star length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	Ring of wire diameter of ring D , diameter of wire d , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{ND}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	Buried horizontal strip length $2L$, section a by b , depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{s^2 - \pi ab}{2(\pi - b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
⊗	Buried horizontal round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$
⊗	Buried vertical round plate radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

NOTE—In Table 4-5, for 3 m (10 ft) rods of 12.7 mm, 15.88 mm, and 19.05 mm (1/2 in, 5/8 in, and 3/4 in) diameters, the grounding resistance may be quickly determined by dividing the soil resistivity ohm-cm, by 288, 298, and 307, respectively.²

2. Equipotencialidad del SIPRA – DOS ANILLOS PERIMETRALES

Se utilizarán dos anillos equipotenciales uno superior y otro inferior para garantizar el apantallamiento entero de todas las superficies del edificio y poder hacer mejor conexión equipotencial BONDING con el sistema de puesta a tierra principal de la subestación SPT. De acuerdo a requerimientos técnicos.

3. METODO DE LA ESFERA RODANTE.

Este método es utilizado en instalaciones de baja tensión o menores a 69kV según estándares internacionales para determinar el radio de la esfera rodante, por ejemplo, la IEC presenta la siguiente ecuación:

$$r = 10 * I^{0.65}$$

Dónde:

r: es el radio en metros.

I: corriente en kA que tendrá el rayo en su impacto inicial.

	L1	L2	L3	L4
Corriente mínima [kA]	3	5	10	16
Probabilidad de la que corriente sea mayor a la mínima [%]	99	97	91	84
Radio de la esfera rodante [m]	20	30	45	60

Tabla 2. Representación de 4 zonas o niveles de protección.

Fuente: (*representación de 4 zonas o niveles de protección*). [9]

De esta tabla se puede deducir que, a mayor corriente, mayor será el radio de la esfera y por lo tanto más espacio puede haber entre pararrayos, irónicamente el problema ocurre con las corrientes “pequeñas” por ejemplo de 3kA, el radio de la esfera es de solo 20 metros y va requerir una mayor cantidad de pararrayos para proteger nuestra estructura. [9]

Aplicando este método, las esferas deben de tocar únicamente la tierra y el sistema de captación diseñado así:

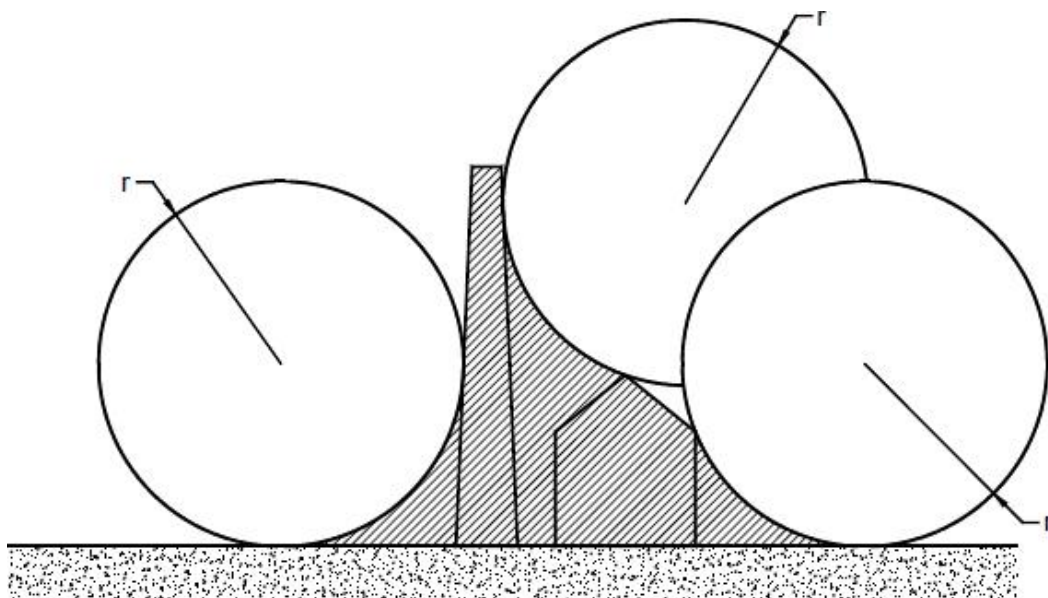


Ilustración 14. Método de la esfera rodante

Fuente: NTC 4552-3. [4]

El radio r de la esfera rodante depende de la clase de SIPRA.

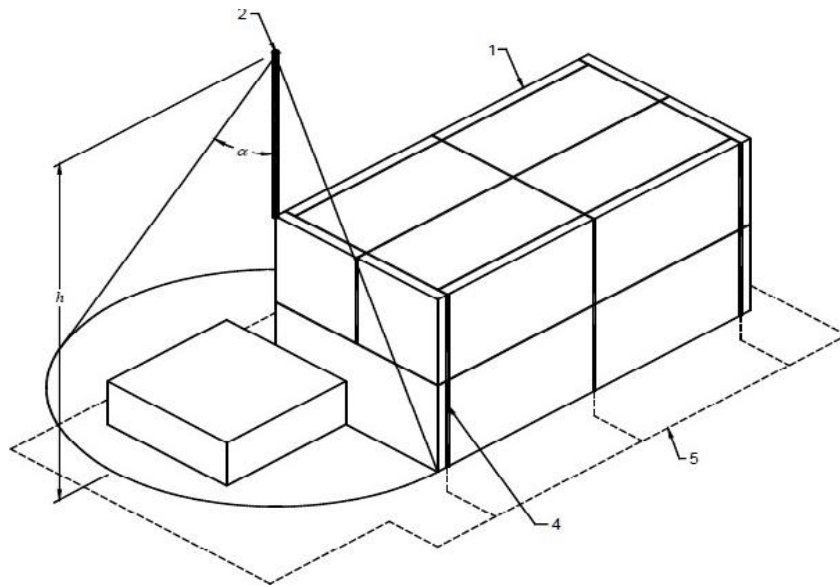


Ilustración 15. Elementos del sistema de protección (método de la esfera rodante)

Fuente. NTC 4552-3. [4]

Uno = Conductor del sistema de captación Dos
= Varilla terminal
Tres = Tamaño de la malla
Cuatro = bajante
Cinco = sistema de puesta a tierra con anillo conductor h =
altura de los elementos sobre el nivel de tierra
Alfa = ángulo de protección

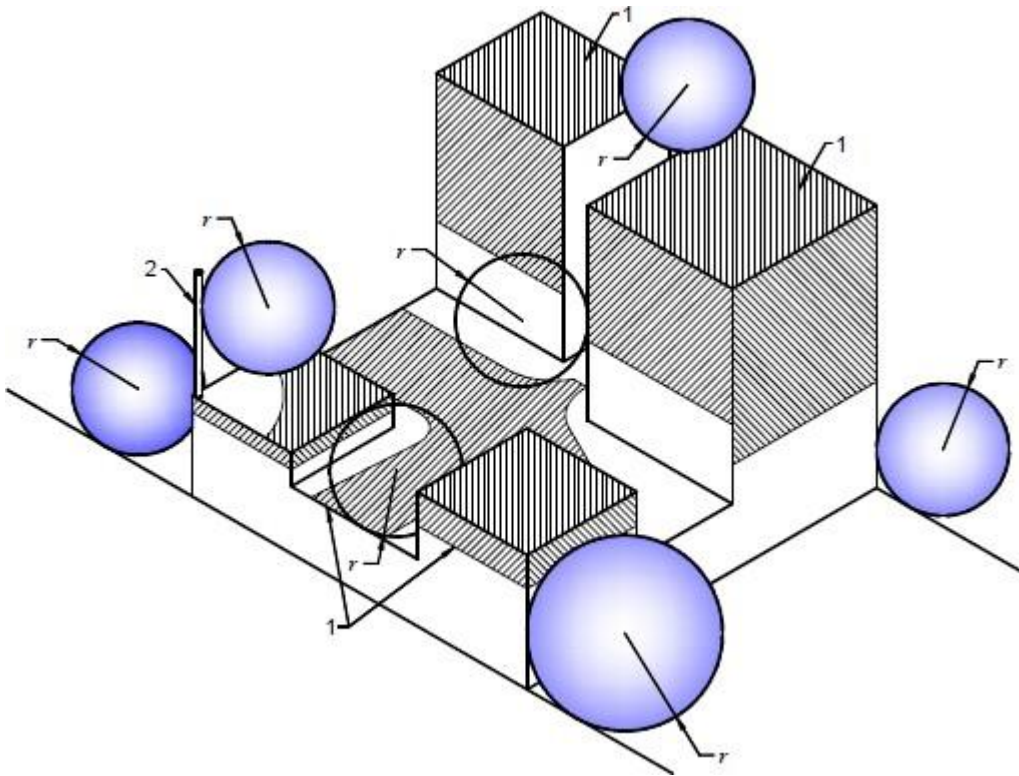


Ilustración 16. Diseño de una red de conductores para el sistema de captación de un SIPRA sobre una estructura con forma compleja

Fuente: NTC 4552-3. [4]

Las áreas demarcadas en la ilustración 16, son expuestas a interceptación de descargas atmosféricas y requieren de protección de acuerdo al nivel de Protección.

Atentamente

FERNANDO GUERRERO DURAN
ING. ELECTRICISTA
MP: AN205-1673