

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

TEMA 2 PROTECCIÓN CONTRA DAÑOS FÍSICOS A ESTRUCTURAS Y LESIONES A LOS SERES VIVOS

INTRODUCCIÓN

Esta parte trata sobre la protección de una edificación y sus alrededores, contra el daño físico y las lesiones a los seres vivos.

El siguiente diagrama muestra de manera sintetizada las diferentes medidas de protección y los elementos necesarios para lograrlas, aspectos sobre los que profundizaremos en el presente tema.

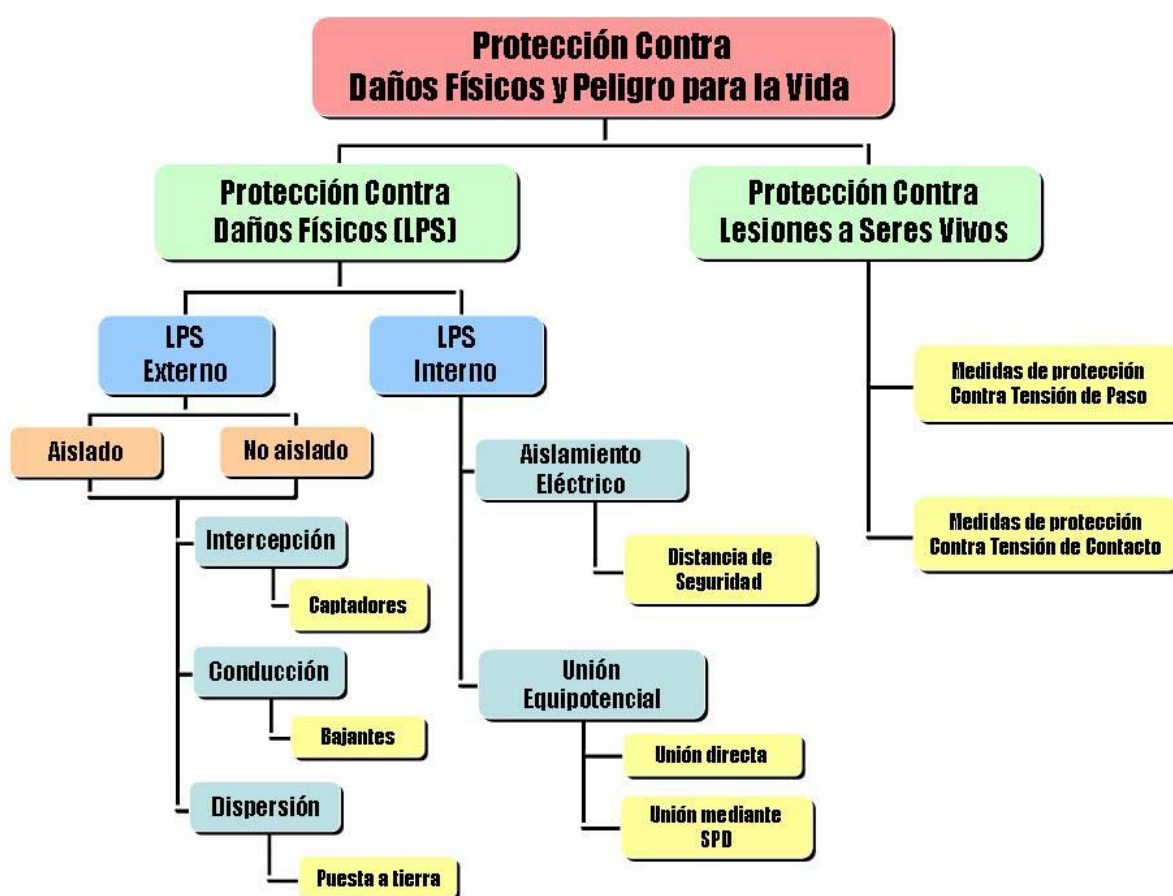


Diagrama 2.1 Medidas de protección contra daños físicos y peligros para la vida.

Donde:

- La medida de protección principal y más efectiva para la protección de estructuras contra el daño físico es el Sistema de Protección contra Rayos (LPS).
- Las medidas de protección principales contra las lesiones a los seres vivos son el Control de las tensiones de paso y de contacto.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS (LPS). GENERALIDADES.

LPS: Lightning Protection System.

Sistema de Protección Contra Rayos

El Sistema de Protección Contra Rayos es el sistema completo usado para reducir los daños físicos y a los seres vivos debido a las descargas de rayo en una estructura.

Clases del LPS

Se definen 4 Clases de LPS (I, II, III y IV) determinadas por las características de la estructura a proteger y por el nivel de protección contra rayos (LPL) correspondiente. Se seleccionan de acuerdo con el Análisis de Riesgo.

Nivel de Protección contra al Rayo (LPL)

Clasificación de las medidas de protección en función de su eficacia y de acuerdo con los parámetros más relevantes de la corriente del rayo. Se establecen 4 niveles (I, II, III y IV).

LPL: Lightning Protection Level.

Nivel de Protección Contra Rayos

COMPOSICIÓN DEL LPS

- LPS Externo
- LPS Interno

2.1.1 DEPENDENCIA DE ALGUNOS DATOS DE ACUERDO AL NIVEL DE PROTECCIÓN

DATOS QUE DEPENDEN DE LA CLASE DEL LPS

- Parámetros del rayo.
- Radio de la esfera rodante, ángulo de protección y dimensiones de la malla.
- Distancias entre conductores de bajada y entre anillos conductores.
- Distancia de separación para evitar chispas peligrosas.
- Longitud mínima de los electrodos de tierra.

DATOS QUE NO DEPENDEN DE LA CLASE DEL LPS

- Unión equipotencial.
- Espesor mínimo de las chapas o de las tuberías metálicas en los sistemas de captura.
- Materiales del LPS y condiciones de uso.
- Materiales, configuración y dimensiones mínimas de los elementos de captura, conductores de bajada y puesta a tierra.
- Dimensiones mínimas de los conductores de conexión.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.1.2 LPS EN ESTRUCTURAS NUEVAS Y EN ESTRUCTURAS EXISTENTES

El LPS integrado a una nueva estructura, permite:

- Considerar el tipo y la localización del LPS en el diseño inicial.
- Aprovechamiento de las partes conductoras de la estructura.
- Facilidad de construcción.
- Mejoramiento del aspecto estético.
- Mayor efectividad de la protección.
- Minimizar costos y esfuerzos.

El LPS añadido a una estructura existente, trae consigo:

- Mayores costos y esfuerzo para asegurar la conformidad con la norma.
- Adaptación del tipo y la localización del LPS a las características de la estructura.

2.2 LPS EXTERNO

FUNCIONES Y COMPOSICIÓN

- ➔ Interceptar las descargas directas de rayo a la estructura, incluyendo las descargas laterales, mediante un **SISTEMA DE CAPTURA**.
- ➔ Conducir de manera segura la corriente del rayo desde el punto de impacto hasta tierra mediante un **SISTEMA DE DERIVADORES**.
- ➔ Dispersar la corriente del rayo en el terreno sin causar daños térmicos o mecánicos ni chispas peligrosas que puedan iniciar fuego o explosión mediante un **SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**.



Figura 2.1 Composición de un LPS Externo.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Por tanto, protege a las instalaciones de los posibles incendios o daños estructurales provocados por el impacto directo del rayo y de las consecuencias de la corriente activa del mismo.

El LPS Externo puede ser:

- NO AISLADO: Generalmente está unido a la estructura a proteger.
- AISLADO: Se conecta únicamente a los elementos estructurales y a la red de unión equipotencial a nivel del terreno. Se usa cuando los efectos térmicos y de explosión en el punto de impacto o en los conductores que llevan la corriente del rayo, pueden causar daño a la estructura y su contenido.

Ejemplos de estructuras donde se aplica el LPS Externo Aislado:

- Con cubierta combustible.
- Con paredes combustibles.
- En áreas con riesgo de incendio o explosión.
- Donde se prevean cambios en la estructura, el contenido o el uso, que impliquen modificaciones al LPS.

USO DE COMPONENTES NATURALES

Como parte del LPS pueden usarse los componentes naturales hechos de materiales conductores que siempre se mantengan en o sobre la estructura y no serán modificados (ejemplo: acero de refuerzo interconectado, acero estructural, etc.)

Características generales de los componentes naturales:

- Tienen que soportar los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo y los esfuerzos accidentales predecibles sin ser dañados.
- Estarán fabricados de los materiales listados en la tabla 3 IEC 62305-3 o de otros materiales con características mecánicas, eléctricas y químicas equivalentes.
- Pueden usarse componentes no metálicos para las fijaciones.
- Los materiales se seleccionan teniendo en cuenta la posibilidad de corrosión de la estructura a proteger o del LPS.
- Las configuraciones y las áreas mínimas de sección transversal de los conductores y puntas captadoras y conductores de bajada se dan en Tablas (Ver IEC 62305-3).

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.1 SISTEMA DE CAPTURA

Es el conjunto de todos los elementos o partes metálicas sobre las que el rayo puede impactar. Estas pueden estar emplazadas por encima o a un lado de la edificación que debe ser protegida.

Con una correcta ubicación de estos elementos o partes metálicas que componen el sistema de captura se disminuye considerablemente la probabilidad de penetración de la corriente del rayo en la estructura.

Clasificación de los elementos de captura:

- Pararrayos convencionales o pasivos
- Early Streamer Emisión (ESE) o Pararrayos de Dispositivo de Cebado (PDC)
- Sistema de Transferencia de Carga (STC)
- Terminales con emisión láser

2.2.1.1 CAPTADORES CONVENCIONALES O PASIVOS

Son elementos metálicos, cuyo principio de acción esta basado en la emisión natural que se presenta en dichos elementos ante la presencia de un campo eléctrico de elevada magnitud, sin que medie ningún otro dispositivo. Comúnmente reciben el nombre de sistemas Franklin.

Los dispositivos de intercepción de la descarga de rayo del tipo pasivo se clasifican como se muestra en la siguiente figura:



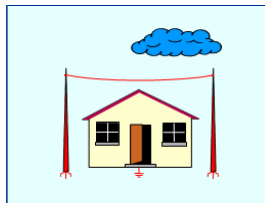
PUNTA FRANKLIN

Provoca una excitación atmosférica por encima de cualquier otro punto de la estructura a proteger, para aumentar la probabilidad de que la descarga incida en su punta.



MALLA FARADAY

Recepción del rayo a través de una malla que apantalla la estructura a proteger y que puede combinarse con puntas.



HILO TENDIDO

Formado por uno o varios conductores aéreos situados sobre la estructura a proteger.

Figura 2.2 Tipos de captadores pasivos.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.1.1.1 MÉTODOS PARA LA UBICACIÓN DE LOS CAPTADORES PASIVOS

Los métodos para la ubicación de los sistemas pasivos son los siguientes:

- Método de la esfera rodante
- Método del ángulo de protección
- Método de la malla

MÉTODO DE LA ESFERA RODANTE (Válido para todos los casos)

Consiste en hacer rodar una esfera, de radio R , sobre la estructura a proteger, considerándose como protegidos aquellos puntos que se encuentran en la zona definida por la superficie de la esfera y la superficie exterior de dicha estructura. Los puntos en que la esfera toca a las diferentes partes de la estructura y el suelo son susceptibles de ser alcanzadas por las descargas. Ver figura 2.3 y 2.4.

La esfera rodante es un corolario del método electrogeométrico. El cual fue concebido para el diseño de la protección contra impacto directo del rayo en líneas y torres de transmisión (para la ubicación de los cables de guarda).



Figura 2.3 Aplicación del método de la esfera rodante sobre una maqueta.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

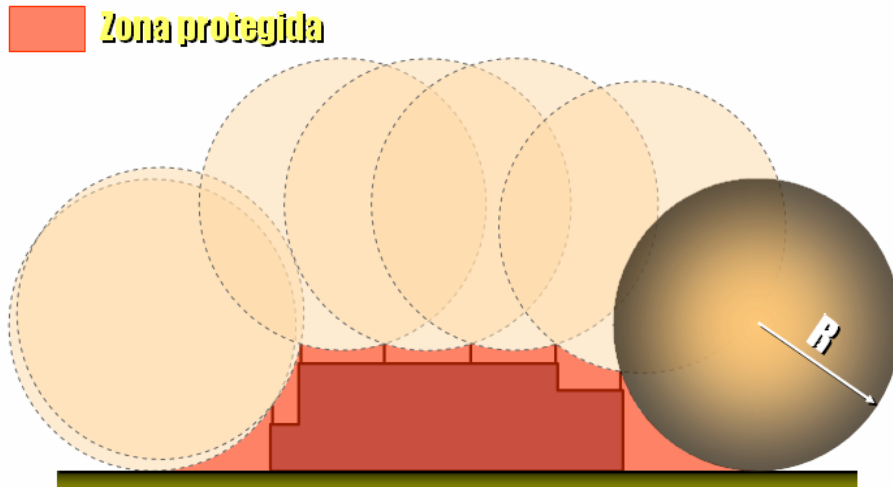


Figura 2.4 Método de la esfera rodante.

A pesar de ser un método aproximado, es el más exacto hasta la actualidad para la ubicación de los sistemas de captura pasivos o convencionales.

El radio R se define como:

$$R_{esfera} = 10 \cdot (I)^{0.65} \quad (2.1)$$

Donde:

I: Valor mínimo de la corriente del rayo para cada nivel de protección (kA).

R: Valor del radio de la esfera rodante correspondiente a la corriente mínima del rayo para cada nivel de protección (m).

Tabla 2.1 Valores mínimos de la corriente del rayo y radios de la esfera rodante para cada nivel de protección.

Criterio de Intercepción	Nivel de protección			
	I	II	III	IV
Corriente pico mín. (I) [kA]	2,9	5,4	10,1	15,7
Radio de la esfera (R) [m]	20	30	45	60

Profundidad de penetración

Como se muestra en la figura 2.5, la profundidad de penetración es la distancia p que penetra la esfera por debajo del punto de contacto de la misma con un grupo de puntas o cables tendidos. Para que una configuración de captura pasiva garantice la protección adecuada, la parte inferior de la esfera no puede tocar la superficie a proteger, o lo que es lo mismo $p < x$.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.



Figura 2.5 Profundidad de penetración.

Las expresiones 2.2 y 2.3 establecen la relación entre la profundidad de penetración (p) y la distancia de separación entre puntas o lados de una malla (d). La primera se utiliza para el cálculo de p en función de d y R , y la segunda para el cálculo de d en función de p y R .

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (2.2)$$

$$d = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot p - p^2} \quad (2.3)$$

Donde:

p : Profundidad de penetración.

R : Radio de la esfera rodante.

d : Distancia entre dos puntas o hilos paralelos.

La figura 2.6 a) y b) muestra las dos variantes más comunes, reflejando como la distancia d puede ser la diagonal en caso de un arreglo rectangular de puntas o la longitud del lado más corto en caso de una malla.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

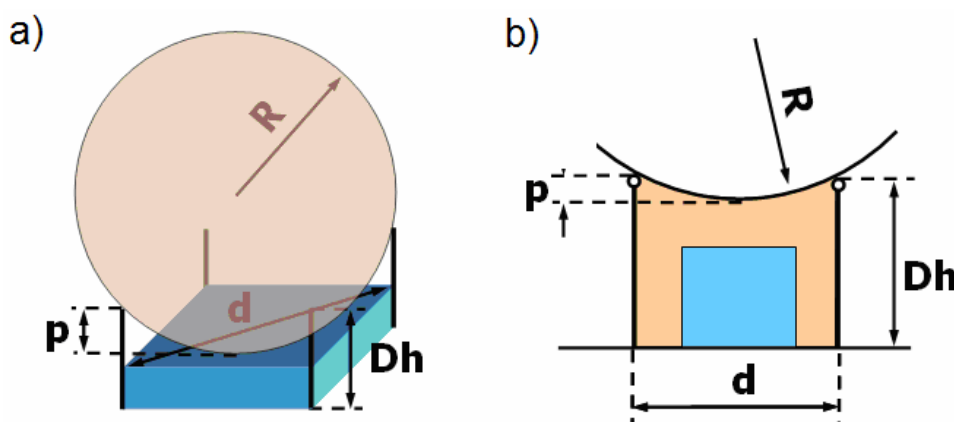


Figura 2.6 Arreglo de cuatro puntas (a)
Arreglo en forma de malla o cable tendido (b)

La tabla que se muestra a continuación muestra para diferentes separaciones la profundidad de penetración por niveles de protección.

Tabla 2.2 Profundidades de penetración para diferentes distancias de separación entre puntas.

Distancia entre puntas (m)	PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN (M)			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
1	0,01	0,00	0,00	0,00
2	0,03	0,02	0,01	0,01
3	0,06	0,04	0,03	0,02
4	0,10	0,07	0,04	0,03
5	0,16	0,10	0,07	0,05
6	0,23	0,15	0,10	0,08
7	0,31	0,20	0,14	0,10
8	0,40	0,27	0,18	0,13
9	0,51	0,34	0,23	0,17
10	0,64	0,42	0,28	0,21
11	0,77	0,51	0,34	0,25
12	0,92	0,61	0,40	0,30
13	1,09	0,71	0,47	0,35
14	1,27	0,83	0,55	0,41
15	1,46	0,95	0,63	0,47
16	1,67	1,09	0,72	0,54
17	1,90	1,23	0,81	0,61
18	2,14	1,38	0,91	0,68
19	2,40	1,54	1,01	0,76
20	2,68	1,72	1,13	0,84

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

MÉTODO DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN

(Válido para edificaciones sencillas, limitada su aplicación a la altura de los captadores)

Los dispositivos de intercepción se posicionan de manera que toda la estructura a proteger esté situada en el interior del volumen formado por la superficie de referencia y la superficie generada por una línea que pasando por el extremo del dispositivo captador, gire formando un ángulo con éste. Ver figuras 2.7 y 2.8.

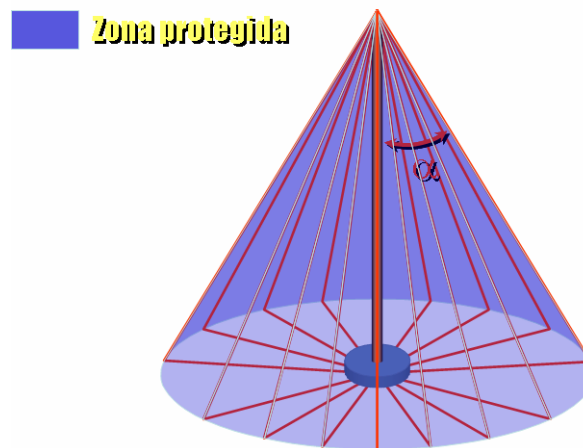


Figura 2.7 Cono de protección.

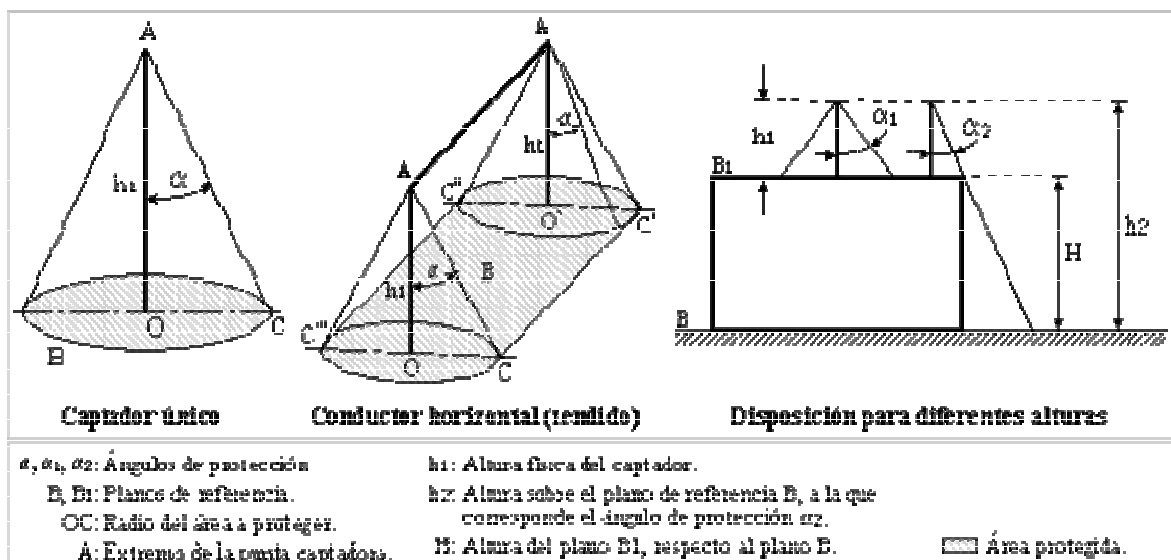


Figura 2.8 Datos adicionales acerca del método del cono de protección.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Origen del método

El método del ángulo de protección se deriva del método de la esfera rodante como se muestra en la figura 2.9. Se define como el ángulo para el cual la recta que lo forma (recta de color rojo en la figura 2.9) genera dos áreas de igual valor al cortar al círculo de radio R (radio de la esfera rodante), ver en la figura 2.9 las áreas sombreadas en rojo. Para cada nivel de protección existen diferentes ángulos de protección en dependencia de la altura de la punta, el gráfico 2.1 muestra unas curvas a escala que relacionan el ángulo de protección para una altura determinada, con el nivel de protección.

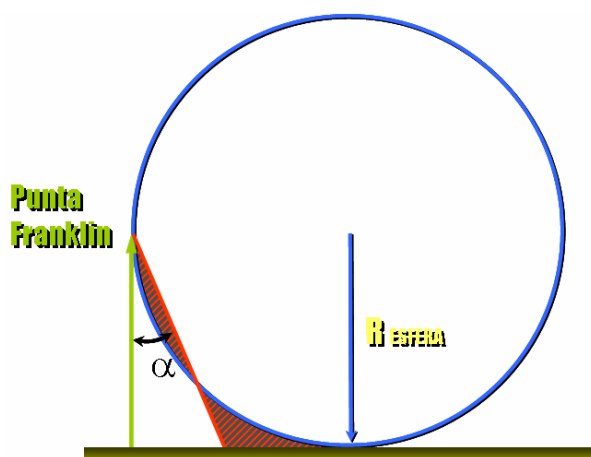


Figura 2.9 Origen del método del ángulo de protección.

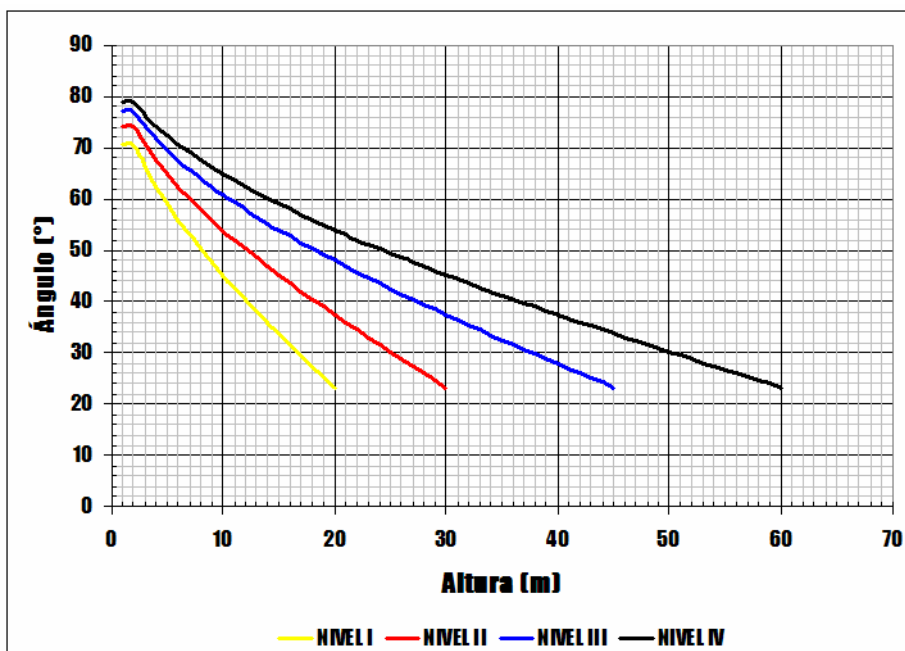


Gráfico 2.1 Ángulo de protección según la altura y el nivel de protección.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

MÉTODO DE LA MALLA

(Para empleo en superficies planas)

Consiste en establecer una malla rectangular de conductores posicionados en los bordes, por encima y en la línea del caballete de la cubierta, no debiendo sobresalir ninguna instalación metálica fuera del volumen protegido por ésta. Ver figura 2.10 y tabla 2.3.

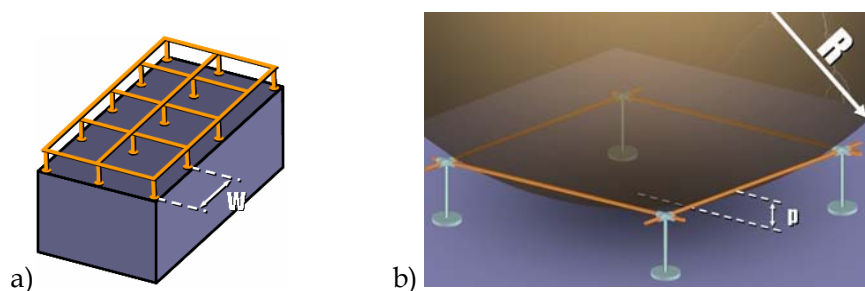


Figura 2.10 Malla sobre cubierta plana (a).
Profundidad de penetración en una malla (b).

Tabla 2.3 Dimensiones de una malla según el nivel de protección.

Nivel de protección contra rayo (LPL)	I	II	III	IV
Dimensión máxima de la malla (m)	5 x 5	10 x 10	15 x 15	20 x 20

RESUMEN DE LOS TRES MÉTODOS

La figura 2.11 resume los parámetros principales de los tres métodos de ubicación de los captadores pasivos.

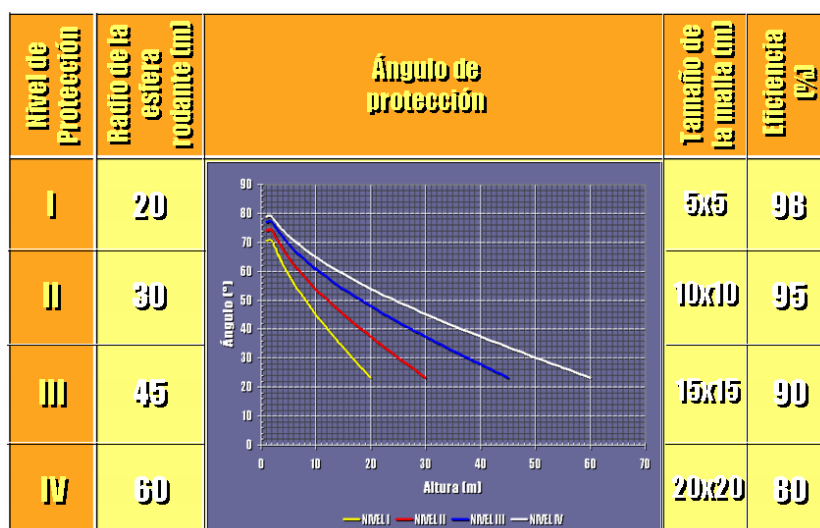


Figura 2.11 Resume de los parámetros principales de los tres métodos.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.1.1.2 CAPTADORES EN LOS LATERALES DE ESTRUCTURAS ALTAS

Se utilizan para proteger la parte superior de las estructuras mayores de 60m de altura y los equipos instalados en ésta, donde pueden ocurrir descargas en los laterales, especialmente en las puntas, esquinas y bordes de las superficies.

Se plantea en estos casos que el 20 % superior de la altura de la estructura debe llevar protección.

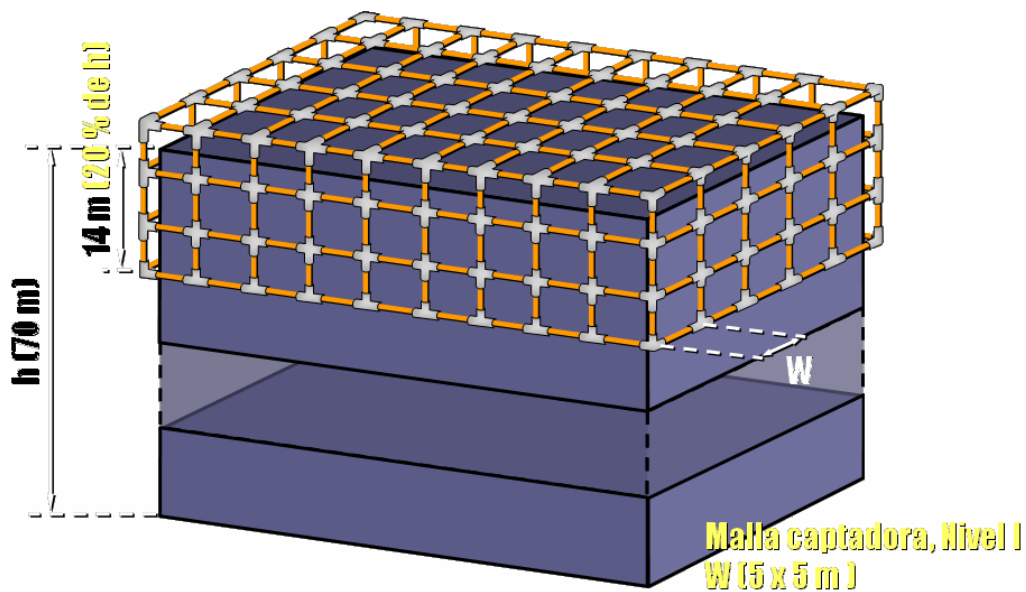


Figura 2.12 Captadores en los laterales de estructuras altas.

2.2.1.2 CAPTADORES NATURALES

Se consideran captadores naturales a:

- Las planchas metálicas que cubren la estructura.
- Los componentes metálicos de construcción (cercha, acero de refuerzo interconectado, etc.) por debajo de una cubierta no metálica, si ésta puede excluirse de la estructura a proteger.
- Las partes metálicas (ornamentos, pretilas, tuberías, revestimientos de parapetos, etc). Tabla 6 (IEC 62305-3).
- Las tuberías metálicas y tanques en la cubierta.
- Las tuberías metálicas y tanques que llevan mezclas fácilmente combustible o explosivas.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Si se garantiza:

- Continuidad eléctrica duradera entre las diferentes partes. (Ej.: por medio de abrazaderas, soldadura, corrugación, tornillos, costura o fijación con pernos).
- Espesor $\geq t$ o t' de la Tabla 3 (IEC 62305-3), en dependencia de la necesidad o no de tomar precauciones contra la perforación o la consideración o no de los problemas debido a la existencia de un punto caliente.

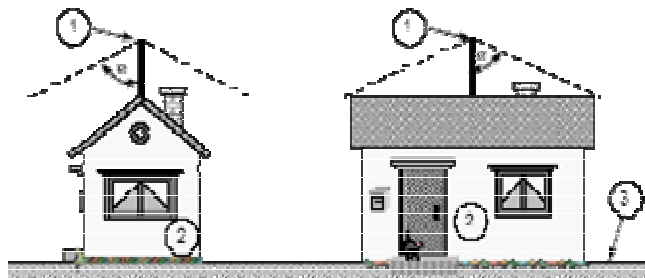
Todas las partes metálicas usadas como dispositivos de captación del rayo, tienen que estar descubiertas o desnudas, permitiéndose sólo un recubrimiento superficial de pintura especial anticorrosiva, 1 mm de asfalto ó 0,5 mm de PVC.

2.2.1.3 CONEXIONES A NIVEL

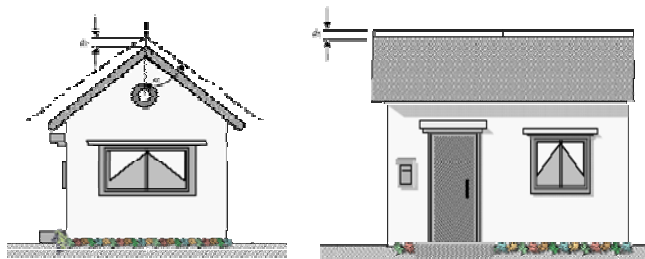
Los elementos de captura al igual que los conductores de bajada tienen que interconectarse por medio de conductores a nivel de la cubierta para brindar suficiente distribución de la corriente en los conductores de bajada.

2.2.1.4 EJEMPLO DE LPS EXTERNO NO AISLADO

Usando una punta Franklin:



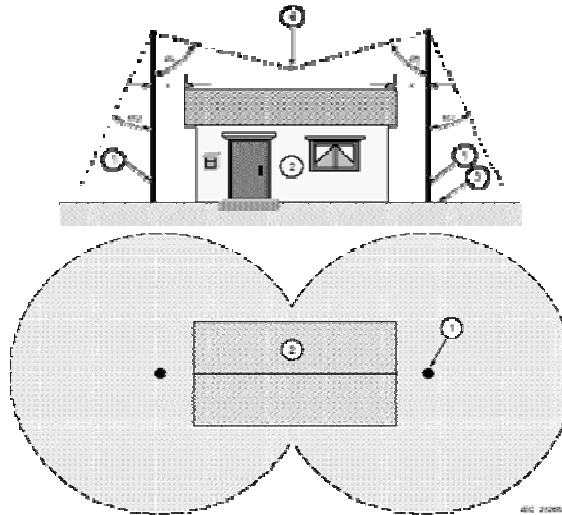
Usando conductor horizontal:



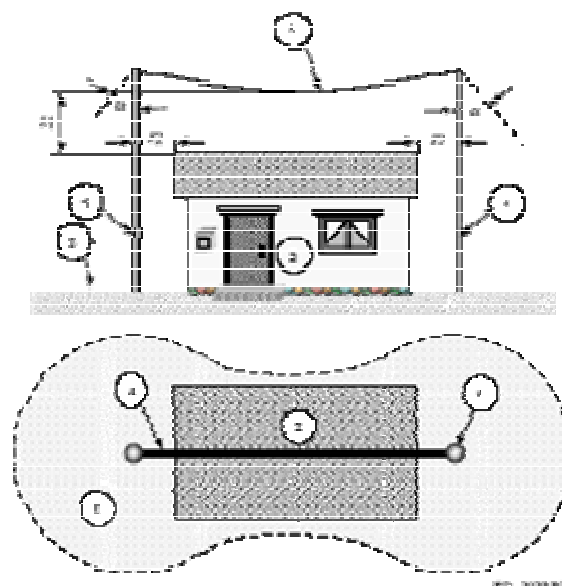
SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Usando dos mástiles aislados y el método del ángulo de protección:



Dos mástiles aislados interconectados por un conductor horizontal:



SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.1.5 COMBUSTIBILIDAD DE LA CUBIERTA

Los conductores de cubierta y las conexiones a los captadores pueden fijarse a la cubierta usando espaciadores conductores o aislantes. Aunque también pueden posicionarse en la superficie de la cubierta si ésta es de material no combustible.

En cubierta no combustible. Sobre la superficie de la misma.

En cubierta combustible. A cierta separación de la misma:

- para paja sin barras de acero de sujeción $\geq 0,15$ m.
- para otros materiales $\geq 0,10$ m.

2.2.2 SISTEMA DE DERIVACIÓN

La instalación derivadora es la parte que se encarga de conducir a tierra la corriente del rayo y está formada por los conductores que se conectan desde el sistema de captura hasta el sistema de puesta a tierra.

Para reducir la probabilidad de daños debido a la corriente de rayo circulando en el LPS, los conductores de bajada se dispondrán de forma tal que desde el punto de impacto hasta el terreno:

- Existan varias trayectorias de corriente en paralelo.
- Las longitudes de dichas trayectorias sean mínimas
- Se realice la unión equipotencial a las partes conductoras de la estructura.
-

Aspectos de interés:

- Es una buena práctica la conexión lateral de los conductores de bajada a nivel del terreno y cada 10 á 20 m de altura.
- La geometría de los conductores de bajada y de los conductores de anillo influye en la distancia de separación.
- La cantidad de conductores de bajada no será menor que dos y se distribuirán alrededor del perímetro de la estructura, teniendo en cuenta las restricciones arquitectónicas y prácticas.
- Se prefiere la instalación de tantos conductores de bajada como sea posible (a igual espaciamento alrededor de perímetro) y su interconexión mediante conductores de anillo, para reducir la probabilidad de chispas peligrosas y facilitar la protección de las instalaciones internas. Esta condición se satisface en edificaciones de acero estructural y de hormigón reforzado en las cuales el acero interconectado es eléctricamente continuo.
- La distribución será preferentemente con igual espaciamento y de forma que su separación media no sea superior a los valores típicos dados en la siguiente Tabla.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Tabla 2.4 Distancia entre conductores de bajada y entre conductores de anillo de acuerdo al LPL.

LPL	Distancia media (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

- Se situarán, en la medida de lo posible, en cada uno de los ángulos exteriores de la estructura.
- Su trazado debe ser elegido de forma que evite la proximidad a las conducciones eléctricas y su cruce. Cuando no se pueda evitar un cruce, la conducción debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1 m a cada lado del cruce. El blindaje deberá unirse al bajante.
- No se instalarán en canalones aún cuando éstos estuvieran recubiertos por un material aislante. Los efectos de la humedad producen una corrosión intensa del conductor de bajada.
- Se recomienda posicionarlos tal que se garantice la distancia de separación entre éstos y cualesquiera puertas y ventanas.
- Se instalarán de forma tal que, en la medida de lo posible, formen una continuación directa de los elementos de captura.
- Se ha de evitar el remonte de cornisas o elevaciones. Se preverán lugares de paso lo más directos posible para los conductores. Se admite un remonte máximo de 40 cm para vencer una elevación con una pendiente menor o igual a 45°.
- Se instalarán rectos y verticales tal que ofrezcan la trayectoria más corta y directa a tierra. Se evitará la formación de lazos, pero si esto no es posible, la distancia de separación d , medida a través del espacio entre los dos puntos del conductor y la longitud l del conductor entre esos dos puntos cumplirá que $d > l/20$.

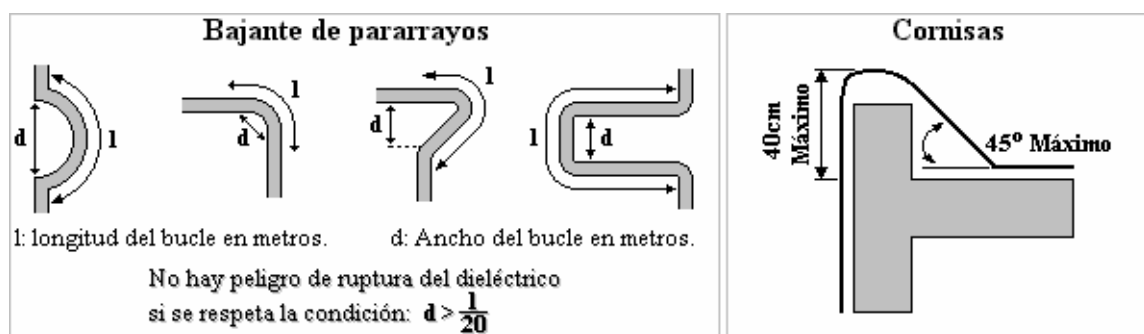


Figura 2.13 Trazado en acodamientos y cornisas.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.2.1 BAJANTES NATURALES

Se consideran bajantes naturales a:

- Las instalaciones metálicas, si se garantiza que:
 - Es duradera la continuidad eléctrica entre las partes conductoras.
 - Sus dimensiones son al menos las especificadas.
- Las tuberías que transportan mezclas combustibles o explosivas no se consideran componentes naturales de conductores de bajada si la junta en los acoplamientos de brida no es metálica o si los lados de la brida no están adecuadamente unidos.
- Metal de refuerzo del hormigón con continuidad eléctrica.
 - Hormigón reforzado prefabricado: Establecer los puntos de interconexión entre los elementos de refuerzo. Que contenga conexiones conductoras entre los puntos de interconexión. Las partes individuales tienen que conectarse en el lugar durante el ensamblaje.
 - Hormigón reforzado pretensado: Debe prestarse atención al riesgo de consecuencias mecánicas inaceptables debido a la corriente del rayo o como resultado de la conexión al LPS.
- Armazón interconectada del acero de la estructura. En este caso y en el anterior no son necesarios los conductores de anillo.
- Elementos de fachada, las barras de perfil y las construcciones metálicas de fachadas, si se garantiza que:
 - Sus dimensiones están conforme a los requerimientos para los conductores de bajada y que los espesores de las planchas o tuberías metálicas son mayores que 0,5 mm.
 - Existe continuidad eléctrica en la dirección vertical.

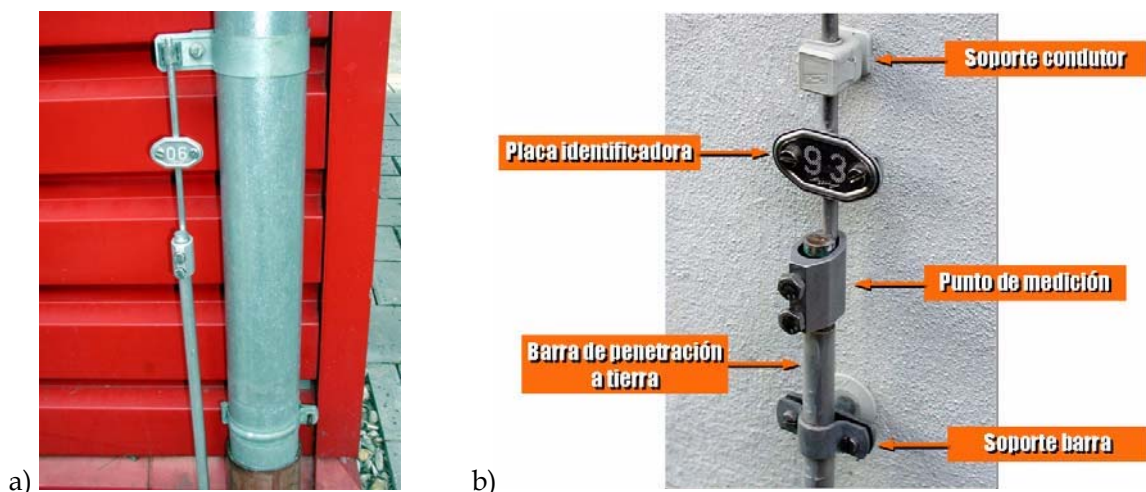


Figura 2.14 Conexión a tierra de la tubería del canalón de lluvia y equipotencialidad de la chapa metálica (a). Conexión al sistema de puesta a tierra (b).

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.2.2 COMBUSTIBILIDAD DE LA PARED

En pared no combustible. Sobre la superficie de la misma.

En pared combustible. Sobre la superficie de la misma, si la elevación de temperatura del conductor debido al paso de la corriente del rayo no es peligrosa para el material de la pared.

En pared altamente combustible: Separación $\geq 0,1$ m, si la elevación de temperatura del conductor es peligrosa. Los accesorios de montaje pueden estar en contacto con la pared.

Cuando esta distancia no pueda garantizarse, se usará una sección transversal del conductor mayor que 100 mm².

2.2.2.3 FIJACIONES

Se colocan para evitar que los conductores se rompan o aflojen debido a las fuerzas electrodinámicas de la corriente del rayo o las mecánicas accidentales (ej. vibraciones, deslizamiento de nieve, dilatación térmica, etc.).

Espaciamiento:

- Cada 1 m desde el suelo hasta 20 m y cada 0,5 m desde 20 m en adelante (para conductores trenzados y planos).
- Cada 1 m a cualquier altura (para conductores redondos sólidos).



Figura 2.15 Ejemplos de fijaciones para los bajantes.

2.2.2.4 FUNDA DE PROTECCIÓN

Los conductores de bajada deben estar protegidos contra eventuales choques mecánicos mediante un tubo de protección hasta una altura de 2 m a partir del suelo.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Material aislante:

- Tipo: PVC, Espesor: 3 mm
- Aislamiento: 100 kV @ 1,2/50 μ s
- Efecto magnético: No
- Protección: contra golpes mecánicos y tensión de toque.



Figura 2.16 Ejemplo de funda aislante.

Material no aislante:

- Tipo: Metal ferroso (unido al conductor en ambos extremos)
- Efecto magnético: Sí
- Disminuye la caída de tensión por tener un mayor diámetro y permite que la funda lleve la mayor parte de la corriente.
- Protección: contra golpes mecánicos

2.2.2.5 UNIÓN DE COMPROBACIÓN

Cada conductor de bajada estará provisto de un dispositivo que permita desconectarlo del sistema de puesta a tierra con el fin de efectuar la medición de tierra así como verificar el estado de los conductores de bajada. Dicho dispositivo será capaz de abrirse con ayuda de alguna herramienta y en uso normal se mantendrá cerrado. Ver figura 2.17.

Para las instalaciones sobre paredes metálicas o que no estén provistas de un bajante específico, las uniones se intercalaran entre cada toma de tierra y el elemento metálico del edificio al que estén unidas. Estarán emplazadas en el interior de una arqueta de inspección sobre el que estará inscrito el símbolo de tierra.

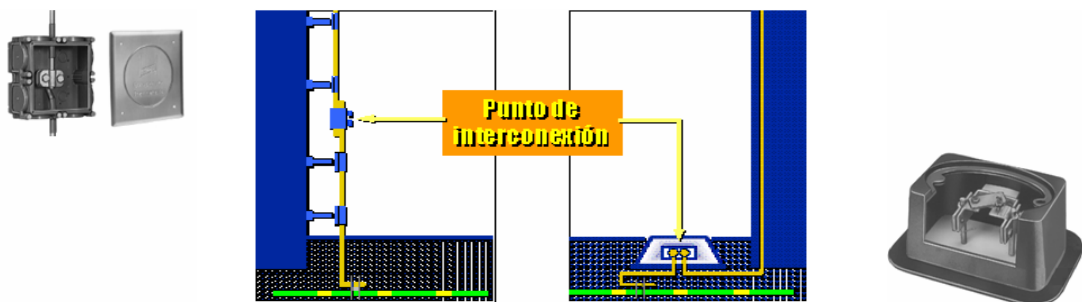


Figura 2.17 Unión de comprobación.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.2.2.6 CONTADOR DE IMPACTOS DE RAYO (OPCIONAL)

Cuando esté prevista la instalación de un contador de impactos de rayo, éste debe estar instalado sobre el conductor de bajada más directo, por encima de la junta de control y, en todos los casos, aproximadamente a 2 m por encima del suelo.



Figura 2.18 Ejemplos de contadores de impacto.

2.2.2.7 BAJANTES EN UN LPS AISLADO

En un LPS Aislado:

- Si los captadores son de punta Franklin:
 - en mástiles separados no metálicos o no interconectados al acero de refuerzo: se necesita al menos un conductor de bajada por cada mástil.
 - en mástiles metálicos o interconectados al acero de refuerzo: no se requieren conductores de bajada adicionales.
- Si los captadores son de hilo tendido: se necesita al menos un conductor de bajada en cada estructura de soporte.
- Si los captadores son de malla Faraday: se necesita un conductor de bajada en al menos cada extremo que soporta al conductor.

2.2.3 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Está formado por uno o un conjunto de electrodos y conductores u otros elementos metálicos enterrados (tuberías, acero constructivo de la instalación), que en esta aplicación, tienen como función disipar en el terreno las corrientes transitorias de impulso que se puedan originar en la estructura.

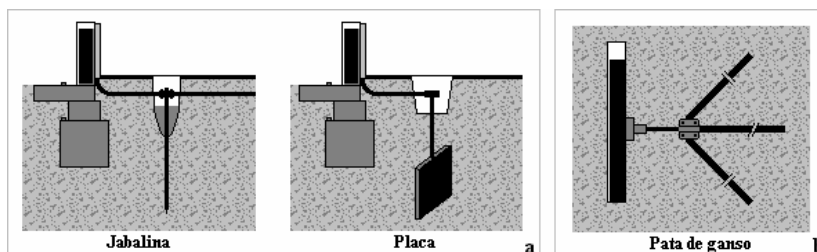


Figura 2.15 Toma de tierra de profundidad a).
Toma de tierra de superficie b).

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Aspectos de interés:

- Desde el punto de vista de la protección contra el rayo, es preferible un sistema de tierra integrado a la estructura y adecuado para otros propósitos (sistemas eléctricos y sistemas de telecomunicaciones).
- Los sistemas de puesta a tierra se interconectan de acuerdo a los requerimientos equipotencialidad. O sea, para evitar las diferencias de potencial que puedan surgir entre distintos elementos metálicos de la instalación se unen todas las estructuras metálicas entrantes e interiores.
- Pueden ocurrir problemas serios de corrosión cuando se interconectan sistemas de puesta a tierra a cables, electrodos y otras estructuras hechos de diferentes materiales. Por tanto, estas uniones debe realizarse con abrazaderas del mismo material o soldadura exotérmica.
- Con el objeto de evitar tensiones de paso peligrosas, el anillo de puesta a tierra debe quedar situado al menos a 50 cm de profundidad.
- En general, se recomienda el valor más bajo posible de resistencia. Se establece como valor máximo de resistencia de puesta a tierra para pararrayos 10 Ω (en instalaciones ordinarias) y 5 Ω (en instalaciones del petróleo y sus derivados) medidos a baja frecuencia.
- Para asegurar la dispersión de la corriente del rayo en el terreno (comportamiento a alta frecuencia) sin provocar sobretensiones peligrosas, son más importantes la disposición y las dimensiones del sistema de puesta a tierra que un valor específico de resistencia.

2.2.4 PARARRAYOS ACTIVOS (ESE o PDC)

El principio en la cual se basa un ESE es el disparo de un líder ascendente temprano en un tiempo Δt , mucho antes que el tiempo de disparo de un pararrayos tipo Franklin. Esta diferencia de tiempo es definida como el “tiempo de ventaja”.

Este se evidencia en los ensayos de evaluación, donde comparan un ESE con otro con su dispositivo de emisión anulado, siendo ambos de la misma geometría y bajo las mismas condiciones de ensayo. Este tiempo de ventaja determina el cálculo de los radios de protección y se expresa:

$$\Delta t = T_{PF} - T_{ESE} \quad (2.4)$$

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Donde:

T_{PR} : Instante de emisión promedio de un trazador ascendente en un PF.

T_{PDC} : Instante de emisión promedio de un trazador ascendente en un ESE.

2.2.4.1 TIPOS DE ESE O PDC

- Pararrayos radiactivos
- Pararrayos de disparo electrónico
- Pararrayos piezoeléctricos
- Pararrayos de perfil especial

Aunque con diferentes principios de funcionamiento todos estos tipos de captadores persiguen la finalidad de producir la ionización del aire para generar un trazador ascendente adelantado.

PARARRAYOS RADIATIVOS



Equipado con fuente radioactiva colocada cerca de la punta. Fueron ampliamente utilizados y actualmente está prohibido su uso por el riesgo de exposición a la radiactividad del público en general.

PARARRAYOS DE DISPARO ELECTRÓNICO

Cuentan con un generador de alta tensión que hace saltar una chispa entre dos electrodos. Este generador es disparado por un dispositivo electrónico que incluye un detector de intensidad de campo eléctrico.



SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

PARARRAYOS PIEZOELÉCTRICOS



Para producir la ionización toma la energía necesaria de un elemento piezoeléctrico que se excita con las fuerzas eólicas.

PARARRAYOS DE PERFIL ESPACIAL



Estos pararrayos captan la energía emitida por el trazador descendente del rayo mediante partes metálicas aisladas que se cargan con el potencial eléctrico ambiental justo antes de que se produzca la descarga del rayo.

2.2.4.2 ENSAYOS DE PARARRAYOS EN LABORATORIO.

Los ensayos experimentales en un laboratorio de alta tensión (Ver figura 2.18), sólo ofrecen una referencia para que el fabricante pudiera comprobar la efectividad técnica del pararrayos que está bajo prueba a nivel comparativo.

No se podrá representar jamás en un laboratorio técnico, todos los parámetros variables de los fenómenos naturales que están implicados estrechamente en la excitación, descarga y transferencia a tierra del rayo.

Los parámetros y procedimientos que se utilizan actualmente en un laboratorio de alta tensión, son fijos dentro de un protocolo y características técnicas. La configuración del ensayo no tiene que ver en absoluto con las tan diferentes configuraciones de las instalaciones de pararrayos. En el campo de aplicación de una instalación de pararrayos, intervienen muchos fenómenos medioambientales y diferentes contextos geográficos, formas arquitectónicas, materiales que pueden interferir positiva o negativamente en la transferencia, excitación y descarga de la energía del rayo.

El ensayo no contempla el resto de los componentes de una instalación de un pararrayos, es decir, el mástil, los soportes, el conductor eléctrico, la toma de tierra, etc.

Las pruebas de eficacia de un sistema de protección del rayo, tienen que ser efectuadas en el campo de aplicación y comprobar que cumplan con el objetivo para lo cual todo el conjunto de la instalación de un pararrayos ha sido diseñado, efectuando un seguimiento en tiempo real del fenómeno rayo y revisiones periódicas de mantenimiento.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

De ahí que en literaturas reconocidas se recojan los siguientes planteamientos:

- Continuar y extender las pruebas de laboratorio para investigar los efectos de los parámetros relevantes como la polaridad, carga espacial, viento y humedad sobre la iniciación probabilística y propagación entre los terminales ESE y los pararrayos tipo Franklin.
- Continuar las observaciones de rayos naturales en y alrededor de sitios de prueba con diferentes terminales donde la frecuencia de las descargas eléctricas atmosféricas sean muy altas.
- Compilar, analizar y centralizar los datos estadísticos existentes y nuevos sobre el desarrollo de la descarga eléctrica atmosférica en diferentes sitios y de diferentes fuentes.

2.2.4.3 LIMITACIONES EN EL USO DE LOS ESE A NIVEL MUNDIAL.

Este tipo de pararrayos ha sido solo incluido para su utilización en las normas francesa y española. Las razones son las siguientes:

1. El planteamiento en que basan su funcionamiento, el mejoramiento de la emisión de un líder ascendente comparado con un pararrayos tipo Franklin parece tener unas bases físicas plausibles, sin embargo su efectividad no ha sido comprobada en pruebas de campo.
2. Existe un grupo de reportes donde los dispositivos ESE fallaron en dar la protección específica que aseguraban sus fabricantes (Mackerras et al, 1987; Rison, 1991; Leite, 1985; Liew, 1992; Eyber Berad, et al, 2001; Torres, 1998; Torres, 2000).
3. La discusión físico teórica del problema sobre si la preionización creada por algún medio sobre el terminal del pararrayos puede afectar significativamente el inicio, el desarrollo y la orientación final del líder descendente de un rayo es aún una interrogante sin respuesta. Dado que ningún laboratorio de alta tensión puede reproducir las características de un líder cálido, como el que ocurre en la naturaleza, la respuesta debe ser buscada en investigaciones in situ.
4. Las investigaciones in situ que se realizan actualmente no adelantan ninguna hipótesis a favor del principio de funcionamiento que exponen sus fabricantes. Más años de experimentación son necesarios.
5. Diferentes comités de normas internacionales y nacionales han estudiado la información sobre este tipo de pararrayos y han desestimado su incursión en sus normas respectivas.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Después de todo lo planteado y a modo de conclusión, es beneficioso tener en cuenta algunas especificaciones sobre el empleo de los pararrayos con dispositivo de cebado, estas son:

- Evitar el uso masivo de este tipo de pararrayos, reservando su utilización para proteger objetivos donde se justifique técnica y económicamente su empleo.
- Debido a que la zona de protección de este tipo de pararrayos se establece bajo un principio no refrendado con la práctica y las investigaciones a escala internacional: los pararrayos de este tipo que han sido colocados y se colocarán, deben llevar un seguimiento estricto de su comportamiento estadístico en función de la actividad eléctrica atmosférica del lugar en que han sido emplazados.

2.2.5 SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA (STC)

Compuestos por: un ionizador (que, mediante cientos de puntas, facilita la descarga de la energía almacenada basado en el principio de Descarga Corona), un colector de carga a tierra (que es esencialmente un sistema de tierra) y los conductores de interconexión de carga (que proveen un camino de baja impedancia de la corriente entre el ionizador y el colector). Ver figura 2.18.

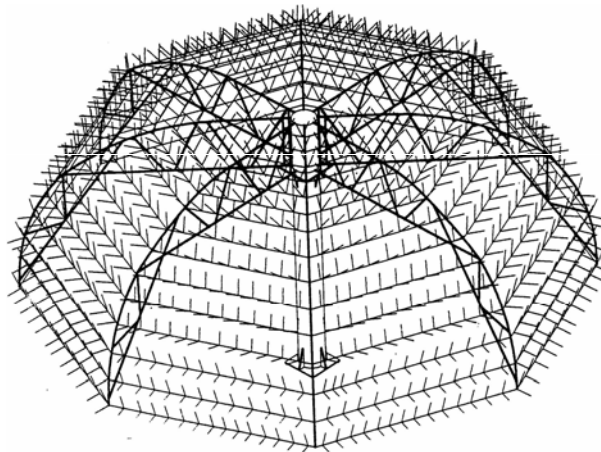


Figura 2.16 Ionizador DAS. Ejemplo de sistema de transferencia de carga.

2.2.6 TERMINALES CON EMISIÓN LÁSER

Están aun bajo desarrollo y su efectividad, aunque promisorio, no ha sido demostrada fuera del laboratorio.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.3 LPS INTERNO

FUNCIÓN

Evitar la ocurrencia de chispas peligrosas dentro de la estructura debido a la circulación de la corriente del rayo por el LPS externo o las partes conductoras de la estructura y que pueden ocurrir entre el LPS externo y otros componentes tales como:

- Las instalaciones metálicas.
- Los sistemas internos.
- Las partes y líneas conductoras externas conectadas a la estructura.

MEDIOS

- Aislamiento eléctrico entre las partes.
- Unión equipotencial.

2.3.1 AISLAMIENTO ELÉCTRICO ENTRE LAS PARTES

El aislamiento eléctrico entre los captadores y conductores de bajada y las partes metálicas estructurales, las instalaciones metálicas y los sistemas internos se logra garantizando una distancia **d** entre dichas partes mayor que la distancia de separación **s**, siendo esta la mínima distancia que deberá existir para evitar chispas peligrosas.

La distancia de separación **s** se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{ki \cdot Kc \cdot l}{km} \quad (2.6)$$

Donde:

ki: depende de la Clase del LPS seleccionada (ver Tabla 10).

kc: depende de la corriente de rayo que circula por los conductores de bajada (ver Tabla 11).

km: depende del material de aislamiento eléctrico (ver Tabla 12).

l: es la longitud en m, a lo largo de los captadores o de los conductores de bajada, desde el punto donde la distancia de separación se considerada, al punto de unión equipotencial más cercano.

Los valores de los coeficientes se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 2.5 Aislamiento del LPS Externo – Valores del coeficiente *ki*.

Clase del LPS	ki
I	0,06
II	0,05
III y IV	0,06

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Tabla 2.6 Aislamiento del LPS Externo – Valores del coeficiente k_c .

Cant. Conductores de bajada	k_c
1	1
2	1 ... 0,5
4 y más	1 ... 1/n

Tabla 2.7 Aislamiento del LPS externo – Valores del coeficiente k_m .

Material	k_m
Aire	1
Hormigón, ladrillo	0,5
Nota 1: Cuando hay varios materiales de aislamiento en serie, se usa el k_m inferior.	
Nota 2: El uso de otros materiales está bajo estudio.	

Cuando la distancia d es insuficiente y no puede satisfacerse, será necesario realizar una unión equipotencial entre el sistema de protección externo y las instalaciones metálicas en el punto más distante. Ver figura 2.17.

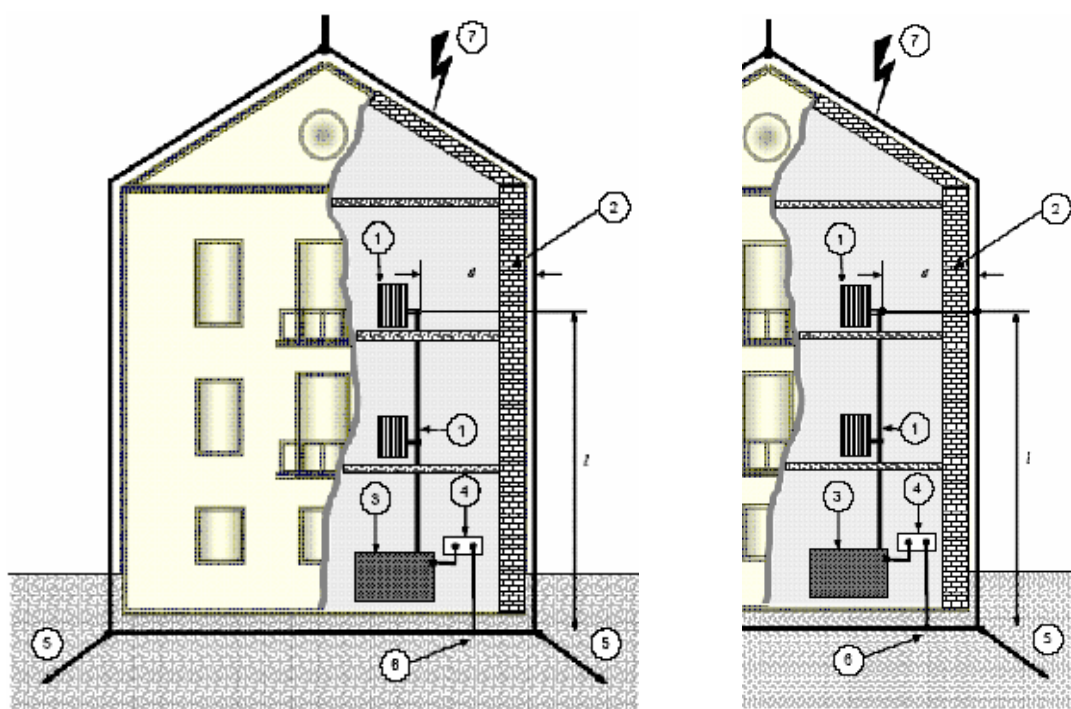


Figura 2.17 Aislamiento eléctrico entre las partes.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

En caso de líneas o partes conductoras externas conectadas a la estructura, siempre es necesario asegurar la unión equipotencial en sus puntos de entrada a la estructura, mediante conexión directa o con SPD.

En estructuras metálicas o con armazón de hormigón reforzado interconectado y eléctricamente continuo, no se requiere una distancia de separación.

2.3.2 UNIÓN EQUIPOTENCIAL

Medios de interconexión:

- **Conductores de unión:** donde la continuidad eléctrica no se garantice mediante las uniones naturales.
- **SPDs:** donde no sean factibles las conexiones directas con conductores de unión.

Unión equipotencial con:

- **Instalaciones metálicas**
 - En un LPS Externo aislado, la unión se hará sólo a nivel del terreno.
 - En un LPS Externo no aislado, la unión se hará en los siguientes sitios:
 - a) En el sótano o aproximadamente a nivel del terreno. Los conductores de unión se conectan a una barra que a su vez se conecta al sistema de puesta a tierra. Para estructuras grandes (longitud > 20 m), se instalan varias barras interconectadas entre sí.
 - b) Donde no se satisfagan los requerimientos de aislamiento.

Tabla 2.8 Dimensiones mínimas de los conductores de conexión de las diferentes barras de unión o de conexión de las barras de unión al sistema de puesta a tierra

Clase del LPS	Material	Sección transversal (mm ²)
I - IV	Cobre	14
	Aluminio	22
	Acero	50

Tabla 2.9 Dimensiones mínimas de los conductores de conexión de las instalaciones internas a la barra de tierra.

Clase del LPS	Material	Sección transversal (mm ²)
I - IV	Cobre	5
	Aluminio	8
	Acero	16

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Si existen piezas aislantes insertadas en las tuberías de gas o agua dentro de la estructura a proteger, éstas se pueden unir mediante SPDs especiales que cumplan con las siguientes características:

- Ensayo Clase I.
- $I_{imp} \geq k_c \cdot I$, donde I es la corriente de rayo que circula por la parte pertinente del LPS Externo.
- $U_p < \text{nivel de aislamiento al impulso entre las partes.}$

▪ Partes conductoras externas

La unión se hace tan cerca como sea posible del punto de entrada a la estructura. Los conductores de unión soportarán la parte de la corriente del rayo I_f que circula por éstos.

Si no es posible la unión directa, se utilizan SPDs:

- Ensayo Clase I.
- $I_{imp} \geq I_f$, donde I_f es la corriente de rayo que circula por la parte conductora externa considerada.
- $U_p < \text{nivel de aislamiento al impulso entre las partes.}$

▪ Sistemas internos

Es obligatorio hacer la unión equipotencial de acuerdo con los incisos a) y b) del punto instalaciones metálicas.

Si los conductores de los sistemas internos son:

- Blindados o dentro de conductos metálicos: es suficiente unir estos blindajes y conductos.
- Se unirán mediante SPDs (en los sistemas TN, los conductores PE y PEN se unirán directamente al LPS o con un SPD).

▪ Líneas conectadas a la estructura

La unión equipotencial para líneas eléctricas y de telecomunicaciones se instala de acuerdo con el punto "partes conductoras externas".

Todos los conductores de cada línea se unirán a la barra de unión:

- Conductores activos, sólo mediante un SPD.
- Conductores PE o PEN (en los Sistemas TN), directamente o mediante un SPD.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

Para las líneas blindadas o que corren dentro de conductos metálicos:

- Si la sección transversal S_c del blindaje o conducto es superior al valor mínimo especificado, No es necesaria la unión equipotencial entre los conductores.
- Si no se cumple lo anterior, Se utilizarán conductores de unión y SPDs con las mismas características que las indicadas en el punto partes conductoras externas.

Cuando se requiere unión equipotencial, pero no un LPS, la puesta a tierra de la instalación eléctrica de baja tensión puede usarse para este fin.

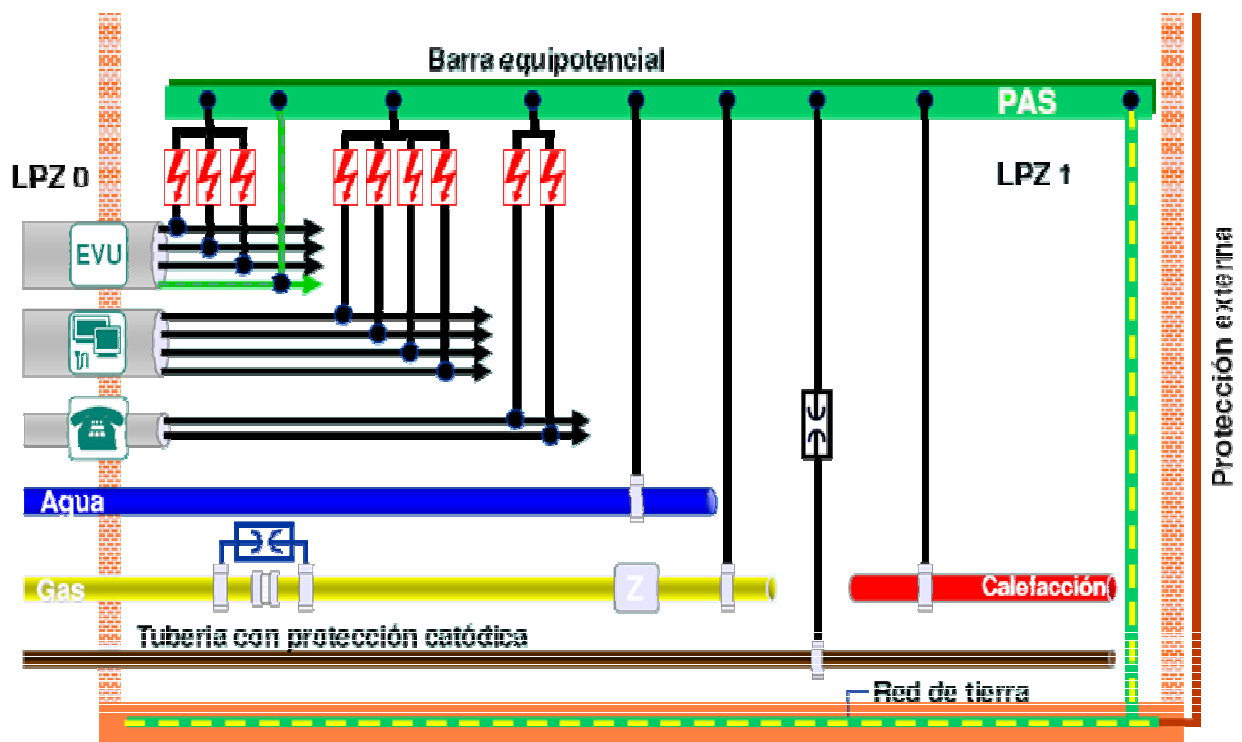


Figura 2.18 Ejemplo de equipotencialización de todas las partes metálicas.

2.4 PROTECCIÓN CONTRA LESIONES A LOS SERES VIVOS

GENERALIDADES

Las medidas de protección principales contra las lesiones a los seres vivos, debido a las tensiones de paso y de contacto, son:

- Reducir la peligrosa corriente que circula a través del cuerpo mediante el aislamiento de las partes conductoras expuestas y/o el incremento de la resistividad superficial del suelo.
- Reducir la ocurrencia de las peligrosas tensiones de paso y de contacto mediante restricciones físicas y/o señales de aviso.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

DEFINICIÓN

Tensión de paso: Diferencia de tensión que existe entre dos puntos de la superficie del terreno separados 1 m.

Tensión de contacto: Diferencia de tensión entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie, separados también ambos puntos por una distancia igual a 1 m.

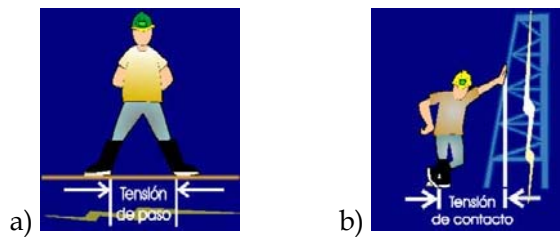


Figura 2.19 Tensión de paso (a).
Tensión de contacto (b)

2.4.1 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA TENSIONES DE PASO

- Baja probabilidad de que personas se aproximen o permanezcan dentro de un área de 3m de los conductores de bajada.
- Resistividad de la capa superficial del suelo dentro de 3m alrededor del conductor de bajada $> 5 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$ (aplicar una capa de asfalto de 5cm de espesor o de gravilla de 15 cm).

Si ninguno de estos requerimientos puede satisfacerse, se adoptarán las siguientes medidas:

- Restricciones físicas y/o señales de aviso para disminuir la probabilidad de acceso al área de peligro.
- Equipotencialización por medio de un sistema de puesta a tierra en forma de malla.

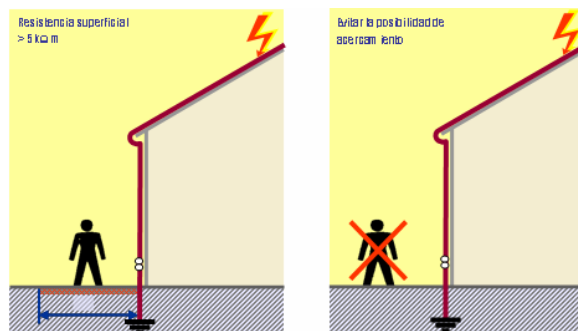


Figura 2.20 Medidas de protección contra las tensiones de paso.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

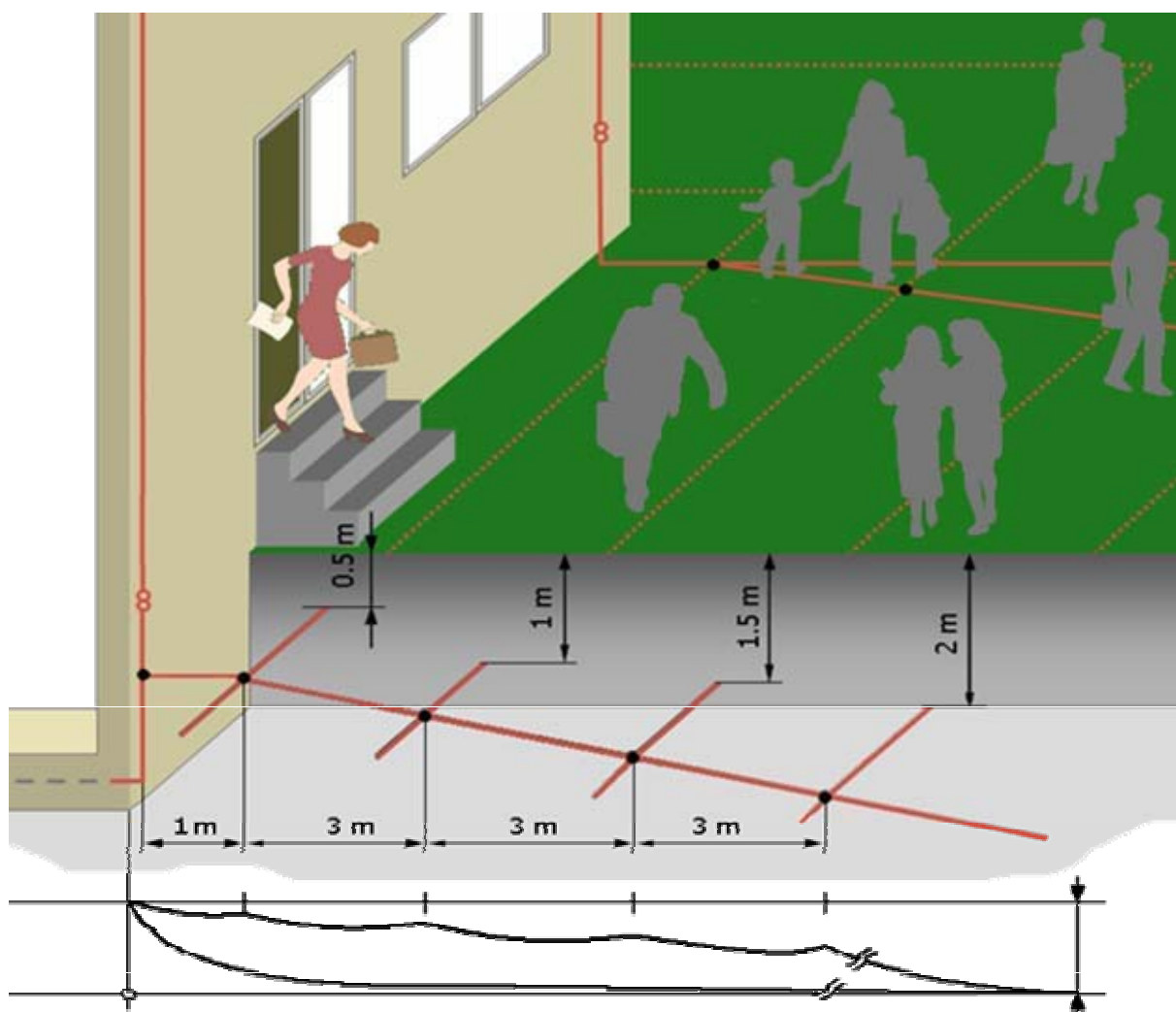


Figura 2.21 Medidas de protección contra las tensiones de paso. Equipotencialización por medio de un sistema de puesta a tierra en forma de malla.

2.4.2 MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA TENSIONES DE CONTACTO

- Medidas de protección contra las tensiones de paso.
- Medidas de protección contra las tensiones de paso.
- Proteger los conductores de bajada con una funda de material aislante (polietileno de 3mm de espesor de la pared y tensión de aislamiento al impulso 100 kV @ 1,2/50 μ s).

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.5 LPS EN CASO DE ESTRUCTURAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN

2.5.1 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Spark gap de aislamiento: Componente con una distancia de descarga para el aislamiento de las secciones de la instalación eléctricamente conductoras.

NOTA 1: *En el caso de una descarga de rayo, las secciones de la instalación se conectan temporalmente como resultado de la descarga.*

Materiales sólidos explosivos: Compuesto químico, mezcla u objeto sólidos, con la explosión como su propósito primario o común.

Zona 0: Lugar en el cual está presente de manera continua, por largos períodos o frecuentemente, una atmósfera explosiva compuesta de una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o neblina.

Zona 1: Lugar en el cual es probable que ocurra de manera ocasional en su operación normal una atmósfera explosiva compuesta de una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o neblina.

Zona 2: Lugar en el cual no es probable que ocurra de manera ocasional en su operación normal una atmósfera explosiva compuesta de una mezcla de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o neblina pero, si ésta ocurre, persistirá por un corto período.

NOTA 2: *En esta definición, la palabra “persistir” significa el tiempo total para el cual la atmósfera inflamable existirá. Esto normalmente comprenderá el total de la duración de la liberación, más el tiempo que toma la atmósfera inflamable en dispersarse después que la liberación ha cesado.*

NOTA 3: *Las indicaciones de la frecuencia de ocurrencia y la duración pueden tomarse de los códigos relativos para industrias o aplicaciones específicas.*

Zona 20: Lugar en el cual está presente de manera continua, por largos períodos o frecuentemente, una atmósfera explosiva, en forma de una nube de polvo combustible en aire.

Zona 21: Lugar en el cual es probable que ocurra de manera ocasional en su operación normal una atmósfera explosiva, en forma de una nube de polvo combustible en aire.

Zona 22: Lugar en el cual no es probable que ocurra en su operación normal una atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo combustible en el aire pero; si ésta ocurre, persistirá sólo por un corto período.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.5.2 REQUERIMIENTOS BÁSICOS

2.5.2.1 GENERALIDADES

El LPS se diseña e instala de manera tal que, en caso de una descarga de rayo directa, no haya efectos de fusión o esparcimiento, excepto en el punto de impacto.

NOTA 4: *También puede ocurrir chispa o descarga perjudicial en el punto de impacto. Esto debe tomarse en cuenta en la determinación de las localizaciones de los elementos de captura. Los conductores de bajada se instalan de forma tal que la temperatura de autoignición dada por la fuente del área de peligro relativo no sea excedida en aquellas aplicaciones donde no es posible instalar conductores de bajada fuera del área peligrosa.*

2.5.2.2 INFORMACIÓN NECESARIA

El instalador/diseñador del LPS dispondrá de los diagramas de la (s) planta(s) a proteger, con las áreas en las cuales serán manipulados o almacenados los materiales sólidos explosivos y las áreas peligrosas adecuadamente marcadas, de acuerdo con IEC 60079-10 e IEC 61241-10.

2.5.2.3 PUESTA A TIERRA

El arreglo tipo B es preferido para todos los LPS en estructuras con peligro de explosión.

NOTA 5: *La construcción de una estructura puede brindar el equivalente efectivo del conductor de anillo del arreglo tipo B (por ejemplo: tanques metálicos de almacenamiento).*

La resistencia de tierra de los sistemas de puesta a tierra para estructuras que contienen materiales sólidos explosivos y mezclas explosivas deberá ser tan baja como sea posible, pero nunca mayor que 10 Ω .

2.5.2.4 UNIÓN EQUIPOTENCIAL

La unión equipotencial del rayo entre los componentes del LPS y las demás instalaciones conductoras, así como entre los componentes de todas las instalaciones conductoras, se garantizará dentro de las áreas y localizaciones peligrosas donde puedan estar presentes los materiales sólidos explosivos:

- A nivel del terreno.
- Donde la distancia entre las partes conductoras es menor que la distancia de separación s calculada asumiendo $k_c = 1$.

NOTA 6: *Debido a las descargas parciales peligrosas, las distancias de separación sólo pueden ser consideradas en las áreas sin mezclas explosivas. En aquellas áreas donde una chispa pueda causar la ignición del ambiente, será necesario la unión equipotencial para asegurar que no se produzca una chispa interna en las áreas peligrosas de zona 0 y zona 20.*

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

2.5.3 ESTRUCTURAS QUE CONTIENEN MATERIALES SÓLIDOS EXPLOSIVOS.

El diseño de la protección contra rayos para estructuras que contienen materiales sólidos explosivos debe tomar en cuenta la sensibilidad del material en la configuración en la cual se usa o almacena. Por ejemplo, algunos materiales explosivos de volumen insensible pueden no requerir ninguna consideración adicional diferente a las contenidas en este anexo. Sin embargo, hay algunas configuraciones de materiales explosivos sensibles que pueden ser sensibles a los campos eléctricos rápidamente cambiantes y/o radiados por el campo electromagnético del impulso del rayo. Puede ser necesario establecer requerimientos de unión adicional o blindaje para tales aplicaciones. Para estructuras que contienen materiales sólidos explosivos, es recomendable un LPS externo aislado. Las estructuras totalmente contenidas dentro de una protección metálica de acero de 5 mm de espesor o equivalente (7 mm para estructuras de aluminio) puede considerarse protegida por un sistema de captura natural. Los requerimientos de puesta a tierra dados en el epígrafe 5.4 de NC IEC 62305-3 son aplicables para todas las estructuras.

Los SPDs deben ser proporcionados como parte del LPS para todas las localizaciones donde haya presencia de materiales explosivos. Donde sea práctico, los SPDs se ubican fuera de las localizaciones donde haya materiales explosivos. Los SPDs ubicados dentro de las localizaciones donde haya explosivos expuestos o polvo explosivo tienen que ser del tipo “a prueba de explosión” o contenidos dentro de carcasas a prueba de explosión.

2.5.4 ESTRUCTURAS QUE CONTIENEN ÁREAS PELIGROSAS

2.5.4.1 GENERALIDADES

Todas las partes del LPS externo (captadores y conductores de bajada) tienen que estar a al menos 1 m alejado de la zona peligrosa, donde sea posible. Donde esto no sea posible, los conductores que pasan dentro de 0,5 m de la zona peligrosa tienen que ser continuos o sus conexiones hechas con fijaciones de compresión o mediante soldadura.

Cuando un área peligrosa está situada directamente bajo una lámina metálica que pueda ser perforada por un rayo, los captadores se proporcionan de acuerdo con los requerimientos del epígrafe 5.2 de NC IEC 62305-3.

2.5.4.2 LIMITACIÓN DE SOBRETENSIONES

Los SPDs tienen que ubicarse fuera de las zonas peligrosas donde sea práctico. Los SPDs posicionados dentro de la zona peligrosa tienen que estar aprobados para zona peligrosa donde estarán instalados o contenidos dentro de una carcasa y las carcasas, incluyendo la de la limitación de sobretensiones, estarán aprobadas para este servicio.

2.5.4.3 UNIÓN EQUIPOTENCIAL

Adicionalmente a los requerimientos de unión de 2.3.2.4, la unión equipotencial común tiene que proporcionarse para el LPS de acuerdo con los requerimientos de esta norma, IEC 60079-14 e IEC 61241-14.

Las conexiones a las tuberías tienen que ser de tipo tal que, en el caso del paso de la corriente de rayo, no haya salto de chispa. Las conexiones adecuadas a las tuberías son soldadas a terminales o pernos o con huecos roscados en las aletas para aceptar los tornillos. Las conexiones por medio de presillas son permitidas sólo si, en el caso de la corriente del rayo, está asegurada la protección contra ignición mediante ensayos y procedimientos usados para garantizar la confiabilidad de la conexión. Las uniones tienen que ser proporcionadas para la unión de las conexiones y los terminales de tierra a los contenedores y tanques.

2.5.5 APLICACIONES ESPECÍFICAS

2.5.5.1 ESTACIONES DE LLENADO

En las estaciones de llenado para automóviles, ferrocarriles, barcos, etc., con áreas peligrosas definidas como zonas 2 y 22, las tuberías metálicas tienen que estar conectadas a tierra de acuerdo con Cláusula 5. Las tuberías se conectarán con construcciones y perfiles de acero, donde existan (si es necesario mediante vías de chispa de aislamiento aprobados para la zona peligrosa en la cual está instalado), tomando en cuenta las corrientes de ferrocarril, las corrientes vagabundas, fusibles de tren eléctrico, los sistemas con protección catódica contra la corrosión y similares. Las estaciones de decantado en ferrocarriles eléctricos están sujetas a las normas nacionales.

2.5.5.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Ciertos tipos de estructuras usadas para el almacenamiento de líquidos que pueden producir vapores inflamables o usadas para almacenar gases inflamables son esencialmente autoprotegidos (contenidos totalmente dentro de contenedores metálicos continuos que tienen un espesor de no menor que 5 mm de acero o 7 mm de aluminio, con no vías de chispa) y no requieren protección adicional. Similarmente, los tanques y tuberías enterrados no requieren de la instalación de dispositivos captadores. Los equipos de instrumentación y eléctricos usados dentro de este equipamiento tienen que estar aprobados para este servicio. Las medidas de protección contra rayos se tomarán de acuerdo con el tipo de construcción.

Los tanques o contenedores aislados tienen que ser puestos a tierra de acuerdo con la Cláusula 5, dependiendo de la mayor dimensión horizontal (diámetro o largo):

- hasta 20 m: una vez
- por encima de 20 m: dos veces.

Para tanques en baterías (por ejemplo, refinerías y almacenes de tanque), es suficiente la conexión a tierra de cada tanque en solo un punto, independientemente de cual es la mayor dimensión horizontal. Los tanques en baterías se conectan entre sí. Además de las conexiones de acuerdo con las Tablas 7 y 8, las tuberías, las cuales se conectan de manera que sean eléctricamente continuas de acuerdo con 5.3.5, pueden usarse también como conexiones.

NOTA 7: *En algunos países pueden existir requerimientos adicionales.*

SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS

TEMA 2. Protección contra daños físicos a estructuras y lesiones a los seres vivos.

En el caso de tanques de techo flotante, el techo tiene que estar efectivamente unido al caparazón principal del tanque. El diseño de los sellos y derivaciones y sus localizaciones relativas necesita ser cuidadosamente considerado tal que el riesgo de cualquier ignición de una posible mezcla explosiva por un salto de chispa sea reducido al nivel más bajo posible. Cuando se fija una escalera rodante tiene que usarse un conductor flexible de unión de 35 mm de ancho a través de las bisagras de la escalera, entre la escalera y la parte alta del tanque y entre la escalera y el techo flotante.

Cuando no se fija una escalera rodante al tanque de techo flotante, se usan uno o más conductores flexibles de unión de 35 mm de ancho, o equivalente, entre el caparazón del tanque y el techo flotante (dependiendo de las dimensiones del tanque). Los conductores de unión tienen que seguir el drenaje del techo o disponerse de manera tal que no formen lazos re-entrantes. En los tanques de techo flotante, se usarán múltiples conexiones de derivación, entre el techo flotante y el caparazón del tanque a intervalos de aproximadamente 1,5 m alrededor de la periferia del techo. La selección de materiales se da mediante los requerimientos de producto y/o ambientales. Los medios alternativos para proporcionar una adecuada conexión conductora entre el techo flotante y el caparazón del tanque para las corrientes de impulso asociadas con las descargas de rayo sólo se permiten si son probadas por ensayos y si los procedimientos son utilizados para asegurar la confiabilidad de la conexión.

2.5.5.3 CONDUCTOS

Los conductos metálicos sobre tierra fuera de las instalaciones de producción tienen que conectarse al sistema de puesta a tierra cada 30 m o tienen que conectarse a tierra mediante un electrodo de tierra superficial o una varilla de tierra.

Lo siguiente se aplica a líneas de gran distancia para transportar líquidos inflamables:

- En las secciones de bombeo, las secciones de reducción y similares, todas las tuberías conductoras incluyendo las tuberías de funda metálica tienen que puntearse mediante líneas con una sección transversal de al menos 50 mm².
- los conductores de puenteo tienen que conectarse con terminales soldables especiales o mediante tornillos de afloje, asegurando las aletas de las tuberías de penetración. Las piezas de aislamiento tienen que puentearse mediante vías de chispa.