

77
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

**PROTECCION DE EDIFICIOS CONTRA
DESCARGAS ATMOSFERICAS**

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
CARLOS RIOS CHAVEZ
REYNALDO HERRERA TORRES

DIRECTOR DE LA TESIS:
ING. IGNACIO GONZALEZ CASTILLO



México, D.F.

1991

FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página
I Formación de una descarga.....	1
1.1 Descarga: orígenes, manifestaciones y efectos.....	2
1.2 Carga electrostática, mecanismos de formación.....	11
1.3 Propiedades de las cargas electrostáticas.....	15
1.4 Nubes, tipos de formación de cargas en ellas.....	17
1.5 Condiciones de formación de una descarga.....	20
1.6 Magnitudes de una descarga.....	23
II Sistemas de protección contra descargas atmosféricas.....	26
11.1 Objetivos de un sistema de protección.....	26
11.2 Elementos de un sistema de protección.....	26
11.3 Tipos de sistemas existentes. Análisis.....	28
11.4 Reglamentación.....	34
III Criterios de diseño e instalación. Elementos de análisis...39	
111.1 Ubicación de las puntas.....	40
111.2 Trayectoria de conductores.....	49
111.3 Ubicación de dispersores y electrodos.....	54
111.4 Conexiones adicionales.....	59
111.5 Sistemas de instalación.....	62
111.6 Materiales. Especificaciones. Reglamentación.....	63
IV Factores que influyen en la decisión de instalar un sistema.67	
IV.1 Frecuencia de tormentas. Niveles isocerámicos.....	68
IV.2 Características del edificio y su contenido.....	69
IV.3 Riesgo ocupacional.....	72
IV.4 Exposición relativa.....	73
IV.5 Pérdidas indirectas.....	74
V Análisis práctico del diseño específico de sistemas.....	75
V.1 Diseño y explicación del proyecto.....	75
V.2 Planos.....	78
Conclusiones.....	80
Bibliografía.....	81

CAPITULO 1.

LA FORMACION DE UNA DESCARGA.

El rayo o descarga atmosférica es un fenómeno natural que representa un peligro potencial tanto para personas como para edificios y equipo eléctrico y electrónico, a menos que se les defienda con una protección adecuada. La decisión para escoger el tipo de protección involucra un gran número de factores interrelacionados que deben ser considerados durante este proceso.

El conocimiento del proceso del rayo puede llevarnos a un mejor entendimiento de las técnicas de protección contra descargas atmosféricas y en consecuencia a mejorar el nivel de resultados de la protección. Por lo tanto, un diseño satisfactorio de sistemas de protección contra rayos puede ser alcanzado mediante el conocimiento del mecanismo y características del rayo y los problemas que su frente de onda de gran voltaje encuentra en bajadas y tierras inadecuadas.

Las corrientes inducidas por rayos que caen cerca de equipo eléctrico y electrónico le pueden causar serios daños. Gran parte de estos perjuicios se pueden evitar mediante la planeación cuidadosa del equipo de protección.

El hombre, por el temor que le tiene a lo desconocido ha creado desde tiempos inmemoriales una serie de historias y leyendas alrededor del rayo. Lo cierto es que este fenómeno existe antes de que se poblara la tierra y sus vestigios se han encontrado en árboles, animales, edificios e incluso personas fulguradas por este suceso de la naturaleza.

En la antigüedad el hombre deificó al rayo, le consideró símbolo del poder y de la ira de los dioses. Los griegos creían que Vulcano los forjaba para que Zeus los lanzara contra los nombres cuando mostraba su enojo. Los medievales consideraban que el daño era causado por una piedra que arrojaba alguna nube; así surgió la palabra ceraunia (piedra que cae con el rayo). No sospechaban entonces que en el curso de un solo año, ciento cincuenta millones de toneladas de un valioso fertilizante de nitrógeno son fabricadas por el rayo al descargarse sobre la tierra.

En el año de 1760 Benjamin Franklin, a quien se le atribuye el invento del pararrayos, colocó en un edificio de Filadelfia su pararrayos, el cual días después fue tocado por un rayo sin causarle ningún daño. Con esto se pensó que el hombre había dicho la última palabra para protegerse contra este fenómeno, pero la realidad es que aún hoy, la ciencia sigue buscando una protección que sea más eficaz contra el rayo.

1.1 DESCARGA; ORIGENES, MANIFESTACIONES Y EFECTOS.

Para comprender mas claramente el fenómeno del rayo, comenzaremos por definirlo:

RAYO.- Inmensa chispa eléctrica natural también llamada descarga atmosférica, es el arma más poderosa de la naturaleza, además de tener un promedio de ocurrencia de cien veces por segundo sobre la faz de la tierra. Se le conoce más por sus efectos dañinos, aunque son superiores los beneficios que proporciona.

Aunque se desconoce el proceso exacto por el cual una nube o la atmósfera adquiere cargas eléctricas de tal magnitud que dan origen al rayo, se han emitido varias teorías para explicar la acumulación de las cargas. A continuación mencionamos algunas de estas teorías.

TEORÍA DE SIMPSON.

Simpson manifestó que la formación de cargas eléctricas en las nubes se debe a corrientes de aire ascendente que transportan vapor húmedo; este vapor, al encontrarse a determinada altura y bajo condiciones atmosféricas propicias se condensa transformándose en gotas de agua.

Cuando inicia la lluvia su caída, las gotas encuentran corrientes de aire ascendente que provocan el rompimiento de las mismas, formándose gotas más pequeñas; volviendo estas a su vez a fraccionarse, y así sucesivamente. Al ocurrir el rompimiento de las gotas se desprenden iones negativos generando así cargas eléctricas que se dispersan en la atmósfera y son llevadas por las corrientes de aire ascendente a la parte superior de la nube, en tanto la parte inferior se carga en forma inductiva.

TEORÍA DE ELSTEL Y GEITEL.

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

La gota en su caída se encuentra con corrientes de aire ascendente que le provocan una disminución de tamaño, y continuando su caída hacia la tierra se encuentra en el trayecto con gotas de mayor tamaño, desequilibrándose eléctricamente. El contacto entre gotas de diferentes tamaños se produce constantemente hasta que el desequilibrio eléctrico llega a un valor crítico, es entonces cuando se produce la descarga o rayo.

Este proceso, descrito en 1885, permite explicar la carga positiva de la lluvia, pero no la formación de los campos eléctricos en las tormentas.

TEORIA DE C.T. WILSON.

Según Wilson una gota polarizada, capta durante su caída más iones negativos que positivos, cargándose por esta razón en medida creciente con electricidad negativa.

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

TEORIA DE FINDEISEN WICHMAN.

El hielo en la nube tiene importancia en la acumulación de cargas eléctricas que producen el rayo. Esta teoría supone que, de los cristales de hielo en caída se desprenden esquirolas cargadas de electricidad negativa. Estas esquirolas debido a su reducido peso, quedan flotando en el espacio mientras que los granos de hielo, considerablemente más pesados, prosiguen su caída, habiendo una separación de cargas en la nube.

TEORIA DE BROOK.

Esta teoría se basa en el contacto que tiene un granizo con otro, por el efecto volta, permitiendo que el aire adquiera una carga positiva y el hielo quede cargado negativamente.

En el mecanismo de la formación de un rayo no están de acuerdo todos los científicos. Por el momento nosotros aceptaremos simplemente que una descarga atmosférica está formada por electricidad estática que proviene de una gran concentración de carga originada normalmente por fenómenos meteorológicos. El fenómeno de la formación de estas grandes concentraciones de carga, ocurre debido a la acumulación de partículas de agua en fase gaseosa en el interior de la nube, que por diversas condiciones atmosféricas resultan cargadas electrostáticamente. Durante periodos de turbulencia atmosférica, grandes cantidades de carga estática se acumulan en las nubes. La carga puede ser uniforme, pero generalmente presenta varias zonas de diferente concentración dentro de una misma nube. En la mayoría de las nubes, aproximadamente el 90 % se acumulan en la parte inferior las cargas negativas, con un pequeño núcleo en el que por el contrario se condensan cargas positivas. La zona central de la nube también está cargada negativamente, y la parte superior está cargada positivamente. Esto se ilustra en la figura 1.

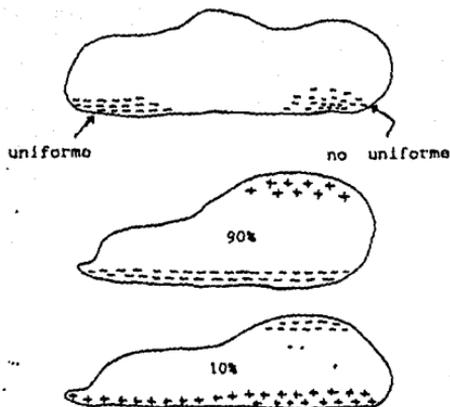
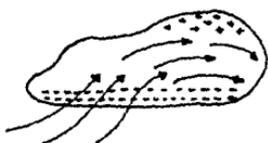
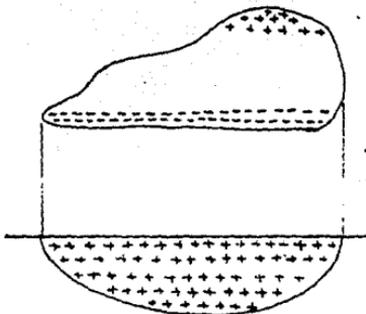


FIGURA 1. Tipos de cargas.

Al aparecer las condiciones atmosféricas antes mencionadas y cargarse la nube, como se ha descrito, ocurrirá por inducción una concentración de carga en la superficie de la tierra que está directamente abajo de dicha nube, esta concentración será de signo contrario a la que se tiene en la parte baja de la nube; esto es, que normalmente resulta positiva como se ilustra en la figura 2. Su intensidad dependerá de la concentración de carga en la nube. Conforme crecen las cargas eléctricas en la nube, crecerán en la tierra, puesto que son de signos opuestos se atraerán. Cuando el gradiente expresado en volts por cm, excede la resistencia dieléctrica del aire que separa la nube del suelo, entonces aparecerá la descarga o rayo.



Carga en
la nube.



Carga inducida
en tierra.

FIGURA 2. Cargas en una nube.

Para poder hablar del rayo y entenderlo mejor debemos considerar las principales características del mismo, que son: el piloto primario, longitud de la trayectoria, polaridad, tiempo de duración, número de descargas sucesivas, energía, y, para el que está cerca al menos, el trueno, que para fines de este trabajo, se definirá como la manifestación sonora de la descarga provocada al tocarse el piloto primario y el secundario, de estas características se habla más ampliamente a continuación.

Una centella llamada rayo piloto o piloto primario parte de la nube al romper la resistencia dieléctrica del aire, este es imperceptible al ojo humano, pero fácilmente grabado con cámaras especiales como lo es la cámara de Boy. Aparece como un flujo en forma de corona que empieza en la nube como un resquebrajamiento del aire.

Para estructuras de hasta 600 pies (182.9 m.) se ha visto que, normalmente, un débil piloto primario se abre camino hacia el suelo en ramas que abren hacia abajo, y al aproximarse a la estructura un brillante piloto secundario sale a su encuentro, mientras que para estructuras de más de 600 pies puede suceder que el piloto primario surja de la estructura, con ramas que abren hacia arriba. Este fenómeno se ilustra en la figura 3.

- a) Carga en la nube anterior a la descarga.
 b) Piloto primario descendiendo en escalones.
 c) Piloto secundario asciende a encontrarse con el piloto primario.
 d) Encuentro entre el piloto primario y el piloto secundario.

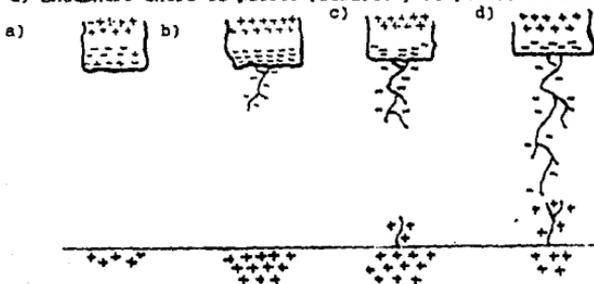


FIGURA 3.

Este piloto primario establece la trayectoria ascendente o descendente del rayo entre la nube y tierra. El piloto primario normalmente sigue la dirección de mayor concentración del gradiente de potencial. Avanza en forma de escalones bruscos e irregulares emitiendo ramales laterales que avanzan en escalones que varían entre los 90 y los 200 metros aproximadamente con periodos de suspensión de 30 a 90 micro segundos entre escalones.

Su velocidad de propagación va desde un medio hasta un décimo de la velocidad de la luz. Estos escalones pueden ayudar a explicar la forma zigzagante y la trayectoria impredecible del rayo. El tiempo total que emplea el piloto primario para completar su descenso de nube a tierra puede ir de $1/1500$ a $1/50$ de segundo. Conforme el piloto primario se aproxima a tierra, simultáneamente las cargas positivas de tierra tienden a moverse rápidamente hacia el área bajo el piloto primario. Es entonces cuando aparece el piloto secundario, sumamente brillante, que sale de algún punto de la tierra y asciende para encontrarse con el piloto primario a una altura de entre 15 y 50 m, lo que determina el punto de descarga del rayo. En este instante puede llegar a haber una temperatura de hasta $100,000^{\circ}\text{C}$ a lo largo del canal de trayectoria del rayo.

La polaridad, como ya se mencionó, es normalmente negativa en la parte baja de la nube y positiva en tierra, esto es en aproximadamente el 90 % de los casos.

Una vez que se encuentran el piloto primario y el secundario, ocurre frecuentemente que las diversas concentraciones de carga de una misma nube utilizan un mismo cauce o trayectoria, produciéndose entonces el fenómeno conocido como descargas sucesivas.

Este fenómeno ocurre en más de la mitad de los casos. Según estadísticas, el promedio es de tres descargas sucesivas, pero el 24 % de los rayos tienen cuatro o más, el 15 % de los rayos tienen seis o más, y así van disminuyendo los porcentajes conforme aumenta el número de descargas sucesivas. El rayo con más descargas sucesivas que se haya registrado es de cuarenta y dos. Este fenómeno es originado por el rápido recargado en la nube; después que ocurre la primera descarga, algunas de las cargas eléctricas en otras partes de la nube o en nubes adyacentes, se mueven en conducción limitada dentro de la nube para rellenar el área descargada. Este relleno ocurre antes de que la trayectoria caliente de la primera descarga se haya enfriado, y en consecuencia cada descarga ocurre en la misma trayectoria dejada por su predecesor como se ilustra en la figura 4.

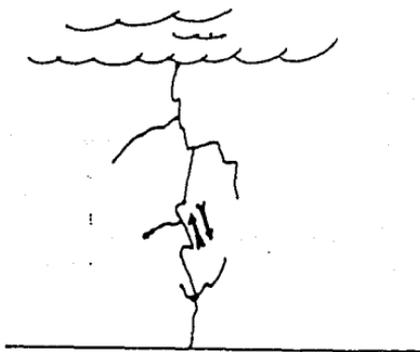


FIGURA 4. Descargas sucesivas.

El tiempo total de estas descargas sucesivas puede llegar a ser de hasta uno y medio segundos, y la energía total acumulada con su correspondiente fuerza destructora puede llegar a ser muchas veces mayor que la de una descarga sencilla que oscila entre valores de alrededor de cien Coulombios.

Estudios realizados por la universidad estatal de Nueva York en Albany, demuestran que los rayos varían en su longitud entre los mil pies (305 m), y las cien millas (160 km), siendo el más común el de una milla (1609 m). Esto se ilustra en la gráfica de la figura 5.

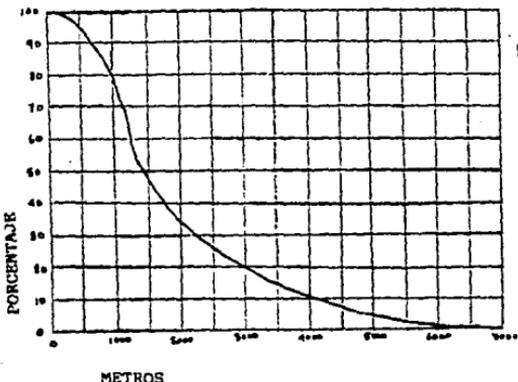


FIGURA 5. Porcentaje de rayos en función de su longitud.

Los efectos que produce un rayo son de naturaleza muy variada y a menudo caprichosa, pues aunque es considerado por muchos como un fenómeno aislado, tiene un promedio de ocurrencia de cien veces por segundo sobre la faz de la tierra.

En Estados Unidos, estadísticas efectuadas demuestran que más de cuatrocientas personas mueren anualmente por causa de rayos y una cantidad mayor a mil resultan heridas por la misma causa. Lamentablemente en México no existen estadísticas al respecto pues aunque sabemos que muchas personas son muertas o heridas por rayos, aparecen en estadísticas de quemaduras o de electrocutados.

En los casos en que el rayo impacta materiales no conductores con elevado contenido de agua, el calor generado provoca muchas veces una disociación de los elementos de ésta, ocasionado un fenómeno de explosión, como se ha observado en árboles, postes de madera y muros húmedos que son impactados por un rayo.

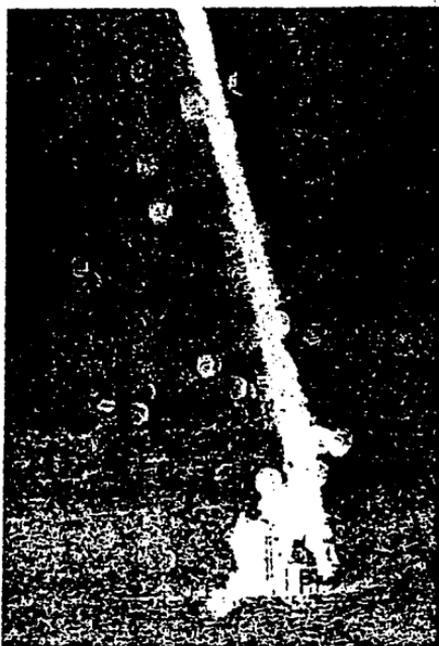
Se ha podido constatar que los rayos de gran intensidad y poca duración provocan un derramamiento de los materiales, pero nunca o rara vez llegan a producir ignición, mientras que los de poca corriente pero gran duración provocan muy fácilmente la combustión de los materiales.

En general, la peligrosidad del rayo que cae sobre materiales flamables es alta, por que como se explicó antes, normalmente a la principal le siguen descargas sucesivas.



Descarga de nube a tierra.

FIGURA 6.



Déscarga disparada en un laboratorio en Japón.

FIGURA 7.

Al encontrarse el piloto primario y el secundario, se produce en torno al canal de gases fuertemente ionizados, que constituye la trayectoria de la descarga, una onda de presión en la que se generan presiones elevadas que pueden destruir cuanto rodea al conductor principal o canal, ya sea muros, chimeneas o habitaciones completas, en ocasiones se pueden producir presiones tan elevadas que provoquen la explosión de los mismos.

El campo magnético que se forma puede llegar a deformar estructuras y ventanas metálicas. Esto se puede presentar en conductores de cable, los cuales sufren una expansión por el efecto de dicho campo magnético originado entre hilo e hilo del cable, por lo que se debe evitar la sujeción por presión únicamente.

En las fábricas que no tienen sistemas de pararrayos se incrementan notablemente los incendios durante y después de tormentas eléctricas, mismos que se aducen a cortocircuitos eléctricos.

Cabe mencionar que otros, son los efectos químicos; como ya se mencionó el rayo produce ciento cincuenta millones de toneladas de nitrógeno al año, además de formar ozono alrededor del canal del rayo, el cual protege a la tierra de los rayos ultravioleta del sol.

1.2 CARGAS ELECTROSTÁTICAS, MECANISMOS DE FORMACION.

La palabra electricidad proviene del griego "electrón", nombre del ámbar amarillo, sustancia que posee la propiedad de atraer a los cuerpos ligeros cuando ha sido frotada con una piel de gato o un paño de lana. Esta propiedad la descubrió Tales de Mileto, 700 años antes de Cristo.

Actualmente sabemos que cualquier elemento simple está formado por átomos, siendo un átomo la partícula más pequeña a la que se puede reducir el elemento conservando sus propiedades. Existen poco más de cien elementos conocidos, noventa y dos de los cuales son naturales y el resto son artificiales o hechos por el hombre. En los últimos años, se han obtenido la mayoría de estos elementos nuevos y se espera que el hombre producirá aún más.

Ahora bien, si el átomo se divide más, el elemento deja de existir entre las partículas que quedan. Estas partículas más pequeñas se encuentran presentes en todos los átomos de los diferentes elementos. El átomo de un elemento difiere del de otro sólo en virtud de que los dos contienen números diferentes de partículas subatómicas.

Básicamente el átomo contiene tres tipos de partículas subatómicas que son de interés en el estudio de la electricidad, y son: electrones, protones y neutrones. Los protones y neutrones se localizan en el centro o núcleo del átomo y los electrones giran en órbitas alrededor de este núcleo. El número atómico de cada

elemento es el número de protones que contiene cada átomo en su núcleo.

Cuando un material tiene igual número de protones y de electrones se dice que es eléctricamente neutro, si muchos de sus átomos pierden o ganan electrones el material quedará eléctricamente cargado. Hay muchas maneras de producir estos cambios en los átomos, a continuación se mencionan las más conocidas.

* Electricidad producida por fricción.

Este método fue descubierto por los griegos y fue descrito anteriormente. Este fenómeno aún no se entiende perfectamente, pero una teoría dice que, en la superficie de un material existen muchos átomos que no pueden combinarse con otros en la misma forma en que lo hacen cuando están dentro del material; por lo tanto los átomos superficiales contienen algunos electrones libres, esta es la razón por la cual los aisladores como el vidrio y el caucho pueden producir cargas de electricidad estática. Este fenómeno se observa al peinarse el cabello, como se observa en la figura 8.



FIGURA 8. Electricidad producida por fricción.

3 Electricidad producida por inducción.

Debido a que los electrones y los protones tienen fuerzas de atracción y repulsión, un objeto se puede cargar sin que lo toque el cuerpo. Por ejemplo, si una varilla de caucho cargada negativamente se acerca a una pieza de aluminio, la fuerza negativa de la varilla de caucho repelerá a los electrones de la varilla de aluminio hacia el otro lado, dejando un extremo de la varilla de aluminio cargada positivamente y el otro negativamente, los electrones en la varilla de aluminio se redistribuirán para neutralizar la carga de la varilla. Si se desea que el aluminio permanezca cargado, hay que acercar nuevamente la varilla de caucho y luego tocar con un dedo el extremo negativo de la varilla de aluminio. Entonces los electrones saldrán de la varilla a través del cuerpo del operador (figura 9). Si se retira el dedo antes de alejar la varilla de caucho, la varilla de aluminio permanecerá cargada.

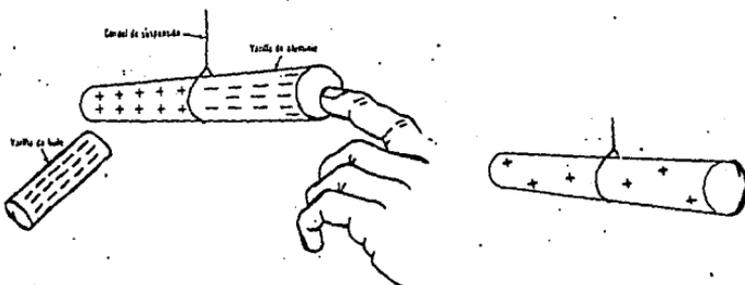


FIGURA 9. Electricidad producida por inducción.

Las dos formas anteriores de producir electricidad estática son las únicas que se presentan en el fenómeno de una descarga atmosférica, aunque existen otras como son:

3 Electricidad producida por reacciones químicas:

Las sustancias pueden combinarse con ciertos metales para iniciar una actividad química en la cual habrá transferencia de electrones, produciéndose cargas eléctricas. Este es la forma en que funciona una batería ordinaria.

• Electricidad producida por presión:

Cuando se aplica presión a algunos materiales, la fuerza de presión pasa a través del material a sus átomos desalojando los electrones de sus órbitas y empujándolos en la misma dirección que tiene la fuerza. Así pues, se originan cargas positivas y negativas en los lados opuestos del material. Cuando cesa la presión los electrones regresan a sus órbitas. Los materiales se cortan en determinadas formas para facilitar el control de las superficies que habrán de cargarse; algunos materiales responden a la presión de flexión y otros a la de torsión.

Piezoelectricidad es el nombre que se da a las cargas eléctricas producidas por el efecto de presión. Piezo es un término que se deriva de la palabra griega que significa presión. Este efecto es más notable en los cristales, por ejemplo las sales de Rochelle, y en ciertas cerámicas como el titanato de bario. Los cristales piezoeléctricos se usan en algunos micrófonos y en pastillas de fonógrafo.

• Electricidad producida por calor.

Debido a que algunos materiales liberan fácilmente sus electrones y otros los aceptan, puede haber transferencia de electrones cuando se ponen en contacto dos metales distintos, por ejemplo con metales particularmente activos, la energía calorífica del ambiente a temperatura normal (20 a 25°C.) es suficiente para que estos metales liberen electrones. Dichos metales pueden ser el cobre y el zinc. Los electrones pasarán de los átomos de cobre a los de zinc. A temperatura ambiente las cargas originadas son pequeñas, debido a que no hay suficiente energía calorífica mas que para liberar unos cuantos electrones, pero si se aplica calor a la unión de los dos metales para suministrar más energía se liberarán más electrones. Este método es llamado termoelectricidad y el dispositivo descrito recibe el nombre de termopar. Cuando se unen entre sí varios termopares, se forma una termopila.

• Electricidad producida por luz.

La luz por sí misma es una forma de energía, esta formada por pequeños paquetes de energía llamados fotones. Cuando los fotones de un rayo luminoso inciden sobre un material, liberan su energía. En algunos materiales como el potasio, sodio, litio, selenio, germanio, cadmio y sulfuro de plomo, la energía procedente de los fotones puede ocasionar la liberación de algunos electrones de los átomos.

• Electricidad producida por magnetismo.

Cuando un conductor de cobre se hace pasar a través de un campo magnético, la fuerza del campo suministrará la energía necesaria para que los átomos del cobre liberen sus electrones de

valencia. Todos los electrones se moverán en la misma dirección dependiendo de la forma en que el conductor cruce el campo magnético (figura 10).

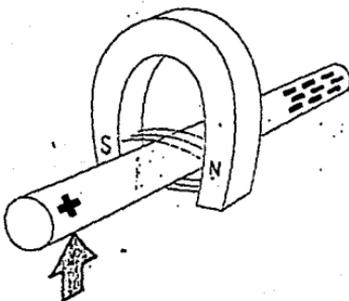


FIGURA 10. Electromagnetismo.

1.3 PROPIEDADES DE LAS CARGAS ELECTROSTÁTICAS.

Existen dos propiedades básicas de las cargas electrostáticas, la de atracción y repulsión, y la del efecto punta.

La propiedad de atracción y repulsión se basa en el siguiente principio: la carga negativa de un electrón es igual, pero opuesta, a la carga positiva de un protón. Ambas son llamadas cargas electrostáticas. Las líneas de fuerza asociadas con cada partícula producen campos electrostáticos. Debido a la forma en que interactúan estos campos, las partículas cargadas pueden atraerse o repelerse entre sí. La propiedad de las cargas eléctricas dice que las partículas que tienen cargas del mismo tipo se repelen y que las que tienen cargas diferentes se atraen. Esta propiedad se muestra gráficamente en la figura 11.

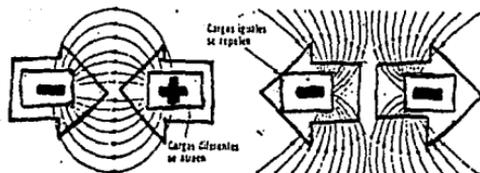


FIGURA 11. Propiedad de atracción y repulsión.

Debido a que los protones son relativamente pesados, tiene poco efecto la fuerza de repulsión que ejercen entre sí dentro del núcleo.

En un objeto cargado negativamente, las líneas de fuerza de los electrones que hay en exceso, se suman para producir un campo electrostático, el cual consta de líneas de fuerza que llegan al objeto desde todas direcciones.

En un objeto cargado positivamente faltan electrones y esto ocasiona que las líneas de fuerza de los protones que quedaron en exceso se sumen para producir un campo electrostático cuyas líneas de fuerza salen del objeto en todas direcciones.

Estos campos electrostáticos pueden ayudarse o bien oponerse para atraer o repeler. La intensidad de la fuerza de atracción o repulsión depende de dos factores: la cantidad de carga que está en cada objeto y la distancia entre los objetos, medida de centro a centro. Cuanto mayores sean las cargas eléctricas en los objetos, mayor será la fuerza electrostática. La fuerza de atracción o repulsión se debilita si disminuye la carga de alguno de los objetos o bien si los objetos se alejan uno del otro.

Durante el siglo XVIII, Coulomb experimentó con cargas electrostáticas, gracias a lo cual pudo formular la ley de atracción electrostática, que dice: "la fuerza de atracción o repulsión es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa".

La propiedad del efecto punta, puede ser explicado haciendo referencia a la descripción del fenómeno de electricidad atmosférica en términos de un gradiente de potencial vertical, que puede ser entendido como líneas de fuerza eléctrica que termina en las cargas de un conductor. Un conductor aterrizado contiene una carga proporcional al número de líneas de fuerza que terminan en él. Si este conductor se eleva por encima del nivel de las otras cargas del mismo signo, las líneas de fuerza tienden a concentrarse en ese conductor, como se muestra en la figura 12.



FIGURA 12. Propiedad del efecto punta.

1.4 NUBES, TIPOS DE FORMACION DE CARGAS EN ELLAS.

Como se explicó en el primer inciso de este capítulo, en la mayoría de los casos se acumulan cargas negativas en la parte inferior de la nube y cargas positivas en la parte superior de la misma.

Los diferentes tipos de nubes tienen diversos efectos eléctricos, desde el punto de vista de electricidad atmosférica. El tipo de nube más importante es el cúmulo-nimbo, que es la nube de tormenta. Esta se caracteriza por una gran amplitud vertical, limitada extensión horizontal, fuertes corrientes de aire verticales y turbulencia, fuertes lluvias, con la consecuente producción de descargas atmosféricas. Este tipo de nube indica una gran inestabilidad atmosférica.

La nimbo-estrato, como la cúmulo-nimbo, es una nube de gran extensión vertical y también provoca lluvia; aunque en general esta lluvia es más ligera que en la cúmulo-nimbo. Normalmente cae por más

tiempo. Este tipo de nube tiene normalmente una gran extensión horizontal con corrientes de aire menores y menos turbulencia que la cúmulo-nimbo. La nube nimbo-estrato es producida comúnmente por la elevación gradual del húmedo y tibio aire sobre una masa más densa de aire frío durante un frente cálido.

Menos importante desde el punto de vista del interés de este trabajo es la nube cúmulo, que va desde pequeñas nubes presentes en climas agradables hasta nubes que se están convirtiendo en cúmulo-nimbo. La cúmulo rara vez produce lluvia pero indica una atmósfera inestable y convectiva.

Otros tipos de nubes bajas, como la estrato y estrato-cúmulo tampoco son de importancia para este trabajo. Son nubes de pequeño espesor (altura) y una gran extensión horizontal, rara vez producen lluvia, aunque algunas veces pueden llegar a provocar lloviznas ligeras.

Las nubes altas como las cirros, cirro-estrato y cirro-cúmulo y las nubes de altura media como alto-cúmulo y alto-estrato tampoco son significativas este trabajo, aunque algunos científicos como Luvini (1924) y Brillouin (1897) mencionan algunos efectos eléctricos relacionados con las nubes del tipo cirros. En la figura 13 se muestran los diferentes tipos de nubes y las alturas a las que se presentan.

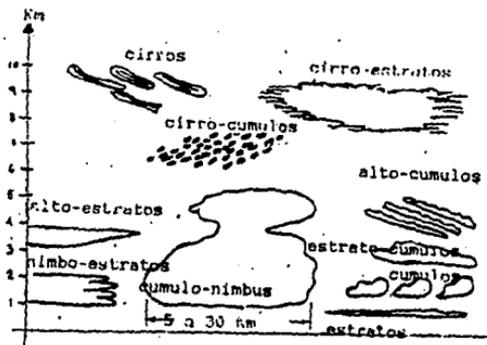


FIGURA 13. Diferentes tipos de nubes.

El fenómeno de la separación de cargas en la nube depende de varios procesos físicos que se presentan dentro de la nube, en especial aquellos que conciernen a las partículas de las nubes y a las partículas de lluvia, y posiblemente más a aquellos que conciernen al crecimiento de las partículas de lluvia.

Factores importantes en el proceso pueden ser la temperatura, la humedad ambiental, el viento, etc. Un caso de estos es el congelamiento de gotas de agua superenfriadas, donde se libera calor latente de tal forma que se eleva la temperatura y, bajo ciertas condiciones, no toda la gota se congela. En todos los casos ocurre una elevación de temperatura.

La temperatura de -41°C parece ser fundamental en una nube, debido a que es la temperatura más baja a la cual las gotas de agua permanecen superenfriadas y por debajo de la cual se congelan espontáneamente; por lo tanto, es por encima de esta temperatura que las partículas sólidas y líquidas de agua pueden coexistir.

Investigaciones recientes respecto a nubes de tormenta han demostrado que la unidad esencial en una tormenta eléctrica no es una tormenta, sino una célula, y la tormenta consiste en una o más células en diferentes etapas de desarrollo.

La célula tiene tres etapas diferentes de desarrollo. La primera etapa o etapa cúmulo, en donde las corrientes verticales de aire son ascendentes y consecuentemente la nube crece en ese sentido. Estas corrientes de aire pueden alcanzar velocidades de 15 m/s. No hay lluvia durante esta etapa, aunque es posible que el proceso de precipitación ya haya comenzado.

La segunda etapa o etapa madura comienza cuando las partículas de lluvia han crecido lo suficiente como para caer de la nube. La velocidad de las corrientes ascendentes de aire se incrementa hasta alcanzar los 30 m/s en la célula central, lo que evita que las partículas de agua en esa parte caigan. Sin embargo, si caen en los extremos de la tormenta donde las velocidades del viento son menores. Al caer la lluvia, provoca corrientes de aire descendente, es en esta etapa donde ocurren las descargas atmosféricas y se presenta la mayor intensidad en todos los procesos que forman una tormenta eléctrica.

En la etapa final o de disipación, las corrientes ascendentes han cesado y el movimiento del aire es descendente en toda la célula. La vida completa de una célula es de aproximadamente media hora, al término de la cual han desaparecido todos sus efectos, aunque probablemente alguna otra célula se haya activado para entonces.

Según observaciones de varios científicos, los diámetros de las células van desde algunos centenares de metros hasta varios kilómetros.

En la figura 14 se muestra la estructura típica de una nube de tormenta en etapa madura.

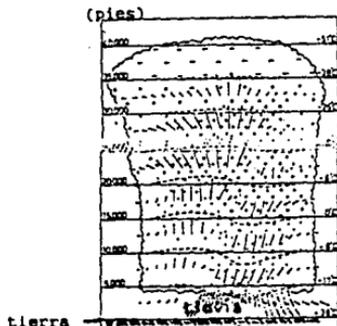


FIGURA 14. Estructura típica de una nube de tormenta en su etapa madura.

Las tormentas eléctricas se han clasificado en térmicas, frontales y ciclónicas. Las tormentas térmicas normalmente se forman en zonas montañosas y se mueven hacia alguna planicie. Aunque se han observado tormentas de este tipo en la península de Florida, donde no hay montañas.

Las tormentas frontales y ciclónicas pueden también transportar nubes cúmulo-nimbo, algunas de las cuales se transforman en tormentas eléctricas. En este caso, el origen y trayectoria de la tormenta parece ser afectado más por factores de mesoescala tales como líneas "squall" y efectos orográficos, que por las características geográficas del terreno por donde pasan.

1.5 CONDICIONES DE FORMACION DE UNA DESCARGA.

Como ya se mencionó anteriormente, en el mecanismo de formación de una descarga no se han puesto de acuerdo los científicos que estudian al respecto. Sin embargo, están de acuerdo en que las tormentas eléctricas, excepto aquellas de frente frío que avanzan sobre aire tibio, evolucionan de grandes nubes por las rápidas corrientes de aire húmedo que ascienden por convección de un área caliente y húmeda. Todos hemos visto esas nubes cúmulo y cúmulo-nimbo expandiéndose hasta alturas de varios kilómetros sobre la tierra, donde las temperaturas están muy por debajo del punto de

congelación. Dentro de las nubes hay una combinación de fuertes corrientes de aire ascendentes y descendentes, lo cual provoca una gran turbulencia. Cualquiera que haya entrado en una nube de estas en avión debe haberlo percibido.

Dentro de este vasto campo eléctrico, provocado en la nube de tormenta en etapa cúmulo-nimbo y en la tierra directamente bajo de la nube (Figura 2), existen cargas eléctricas de varios cientos de millones de volts en las áreas de la nube con probabilidades de producir descargas de nube tierra o bien entre nubes.

El proceso de separación de las cargas y el gradiente de potencial generado resultante puede ser extremadamente rápido, como lo han podido observar investigadores avocados a ello.

Cuando la diferencia de potencial entre nube y tierra, o entre nube y nube, es tan grande que consigue romper la resistencia dieléctrica del aire que los separa, entonces aparecerá la descarga. Esta se presenta en forma de un haz luminoso que se puede captar con una cámara de Boys, cuyos resultados se pueden apreciar en la figura 15, donde aparecen con las correspondientes mediciones del campo eléctrico.

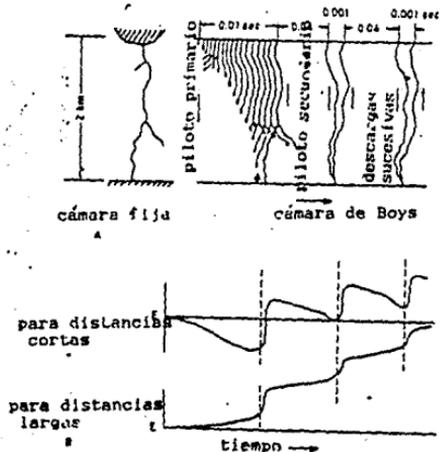


FIGURA 15. Rayo captado por una cámara común y por una cámara de Boys (A) y los correspondientes cambios en el campo eléctrico (B).

En la figura 16 se muestra un gráfica con los cambios en el campo eléctrico atmosférico debido a descargas de nube a tierra y de nube a nube.

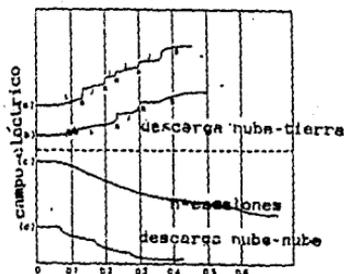


FIGURA 16

También se presenta el trueno, que es la manifestación sonora de la descarga. Esta tiene una duración, según experimentos realizados por Latham (1964), de entre 0,1 y 2,2 seg. y varía entre rangos de frecuencia de 0,25 a 500 Hz., medidos con un micrófono-condensador. En general, el trueno no puede ser escuchado a distancias mayores de 25 km aunque depende de la altura a la que se ha originado el mismo (figura 17).

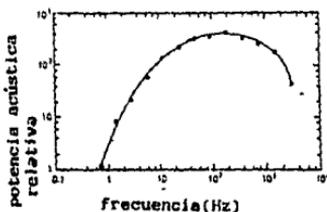


FIGURA 17. Promedio del espectro acústico de 23 truenos.

1.6 MAGNITUDES DE UNA DESCARGA.

El voltaje de una descarga puede alcanzar cientos de millones de volts entre nube y tierra, pero al llegar a tierra, la neutralización de cargas reduce este voltaje. Sin embargo, millones de volts pueden descargarse sobre el árbol, edificio o estructura. La magnitud de este voltaje depende de la cantidad de corriente en la descarga y de la impedancia de la trayectoria hacia una tierra eléctrica.

En el caso de una torre de acero como puede ser una de alta tensión, aún con una tierra eléctrica perfecta en la base, la parte alta de la torre puede alcanzar instantáneamente un millón de volts o más mientras circula la descarga a través de esa estructura hacia tierra.

La corriente de una descarga es la forma principal de medir su fuerza violenta y destructiva, se han registrado valores que van desde mil hasta doscientos mil amperes. La corriente de descarga fluye a través de la misma trayectoria establecida por el piloto primario y fluye de uno a diez microsegundos después de que el piloto primario se encuentra con el piloto secundario, completándose así la trayectoria a tierra.

La magnitud de esta corriente se toma a través de estadística y depende de la energía almacenada en la nube y de la diferencia de potencial entre esta y la tierra al inicio de la oescarga.

Mediciones de corrientes en cientos de descargas a líneas de transmisión y a edificios muestran los porcentajes de las descargas de diferentes magnitudes, y son aproximadamente como se muestran en la figura 18.



FIGURA 18.

La duración del flujo de las descargas con mayor corriente son de tan sólo décimas o centésimas de microsegundo. Normalmente, la corriente alcanza su máximo valor en un tiempo de dos a diez microsegundos, decrece a la mitad de su valor en tiempos de veinte a cincuenta microsegundos y cae a cero en aproximadamente cien a doscientos microsegundos, como se muestra en la figura 19.

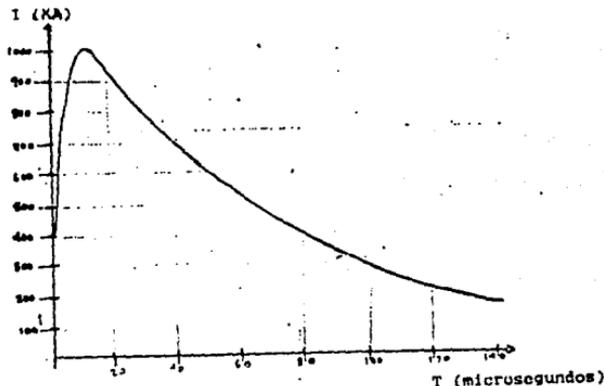


FIGURA 19.

Estas corrientes relativamente altas producen una explosión violenta sin producir casi ningún incendio.

Sin embargo, un considerable porcentaje de descargas tienen una larga duración, con bajas corrientes que oscilan entre doscientos y mil amperes, con duración de varios miles de microsegundos.

Este tipo de descarga es llamada a veces descarga caliente, pues causa un gran daño térmico al objeto sobre el cual cae, como puede ser derretir el cable, quemar techos metálicos hasta agujerarlos, además de incendiar materiales combustibles en las proximidades.

Muchas descargas son una combinación de los dos tipos arriba mencionados, comenzando con un gran impulso de corriente de corta duración el cual se convierte en una descarga de poca corriente y una gran duración. Estas descargas son a la vez destructivas e incendiarias.

Estudios realizados por el I.E.E.E. (Institute of Electrical and Electronic Engineering) sobre la magnitud de las corrientes de descargas sobre líneas de transmisión de 345 kv, reportan que varían de 7,000 a 89,000 amperes de pico con un 50% de las corrientes excediendo los 38,000 amperes. La magnitud de 89,000 amperes fue medida tan sólo tres veces cerca de una gran subestación.

El patrón de probabilidades de corrientes obtenido durante esta investigación es esencialmente el mismo que aquellos medidos en investigaciones de campo por otros científicos e indican que en el 4% de las descargas, la magnitud de la corriente excede los 100,000 amperes (figura 20).

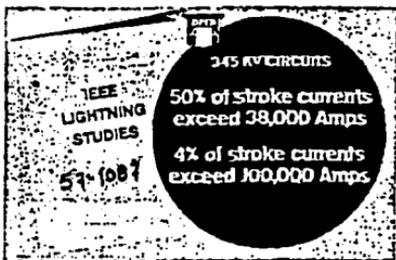


FIGURA 20.

CAPITULO 2.

SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS.

La planeación inteligente para la protección de personas, edificios, e instalaciones contra los daños ocasionados por descargas atmosféricas requiere de muchas técnicas y métodos.

Dispositivos tales como conductores han sido diseñados y manufacturados para proteger permanentemente instalaciones. Se han hecho estudios para proteger líneas de alta tensión, así como instalaciones diversas tomando en consideración la frecuencia y magnitud de las descargas ocurridas en el área donde se va a construir la instalación en cuestión. Se están desarrollando técnicas para avisar a personas, cuyo trabajo o entretenimiento requiere que permanezcan a la intemperie durante tormentas, de las posibles descargas que ocurran cerca del lugar donde se encuentran.

Observatorios meteorológicos guardan archivos de los días de tormenta y reportan las observaciones de descargas. La Organización Mundial de Meteorología utiliza estos datos para compilar mapas mensuales y anuales de frecuencia de tormentas eléctricas. El número de días de tormenta no indica realmente la frecuencia de las descargas, debido a que el número de descargas diarias varía enormemente en diferentes estaciones del año y en diferentes regiones.

2.1 OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION.

El objetivo de un sistema de protección es el evitar o al menos minimizar el daño que una descarga atmosférica le puede provocar al edificio o instalación sobre el cual cae. Esta protección se logra mediante el establecimiento de un camino de baja impedancia que facilite el paso de la corriente, y que permita del modo más sencillo posible la descarga del rayo a tierra.

2.2 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PROTECCION.

Un sistema de protección contra descargas atmosféricas consta de tres elementos fundamentales:

1. El elemento receptor.

También llamado punta. Lo constituyen las puntas de protección y los cables colocados estratégicamente en las partes de la estructura que pueden recibir una descarga (figura 21).

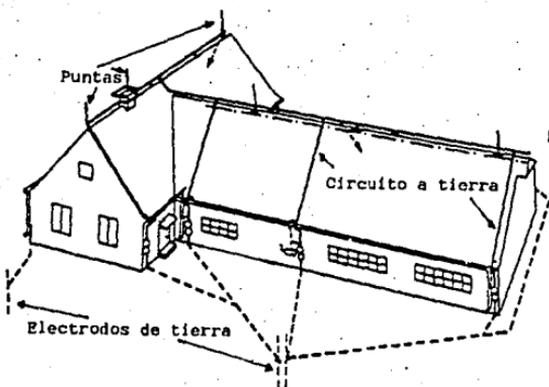


FIGURA 21.

2. Circuito a tierra.

Formado por dos o más conductores que tienen como misión transportar a tierra la corriente de la descarga, según un recorrido perfectamente determinado y de baja impedancia. Este circuito debe pasar por la parte exterior del edificio o instalación para así evitar cualquier peligro a los ocupantes y/o equipo.

La realización práctica de éstos elementos debe efectuarse teniendo muy en cuenta que por desplazarse la corriente del rayo a impulsos, adquiere una importancia notable la reactancia del circuito, cuya influencia puede originar grandes caídas de tensión en el circuito. (figura 21).

3. Electrodo de tierra.

Llamados también dispersores de tierra. Son los que proveen de un contacto firme el sistema con el terreno, facilitando la dispersión en el suelo y subsuelo de las corrientes con características nocivas y reducir las a un potencial que tienda al valor cero, con lo que se logra evitar o minimizar los daños a personal y/o equipo.

La impedancia total del circuito es una suma de la impedancia de cada uno de sus elementos, más los de los contactos entre los mismos elementos.

Es de suma importancia la impedancia del terreno, el valor de esta es el que predomina sobre los demás y es usualmente un valor al que hay que adaptarse, aunque actualmente se han desarrollado algunos productos químicos que pueden usarse como aditivos en los electrodos y retienen humedad, logrando así abatir la resistencia a tierra.

2.3 TIPOS DE SISTEMAS EXISTENTES. ANALISIS.

Básicamente, los sistemas de pararrayos se dividen en dos clases: activos y pasivos. Activos son los que tratan de facilitar la ruta del piloto primario, dirigiéndolo o provocando un camino de baja impedancia, actúan con el gradiente electrostático de la atmósfera, descargando el lugar donde se encuentran instalados, evitando que ocurra el rayo en ese sitio convirtiéndose en preventivos. Además el encuentro entre el piloto primario y secundario se realiza teóricamente más alto, alejando con ello el punto de mayor temperatura de la descarga atmosférica.

Los pararrayos pasivos descargan el terreno donde están instalados únicamente por efecto punta, por lo que materialmente se limitan a esperar el rayo para drenarlo a tierra, por lo que tienen teóricamente, mayor probabilidad de impacto por rayo.

Dentro de los sistemas pararrayos pasivos los más importantes son los siguientes:

* Pararrayos de Franklin.

Este tipo de sistema tiene hoy en día únicamente importancia histórica, pues se han comprobado las limitaciones de superficie protegida que provee. Está formado por una barra metálica, cilíndrica, de tres metros de longitud y un diámetro de trece milímetros. Este es el receptor, colocado verticalmente y termina en una punta muy aguda. Está conectado a tierra mediante un conductor de hierro.

La eficiencia de este tipo de pararrayos disminuye con la altura, como se muestra en la figura 22, donde vemos que el ángulo de protección es de 45° para alturas de hasta 18 m. pero conforme ésta se incrementa, también aumenta la probabilidad de falla, por lo que se debe disminuir el ángulo de protección confiable.

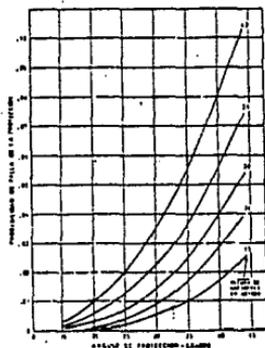


FIGURA 22. Probabilidad de falla de la protección vs. ángulo de la protección.

• Pararrayos de jaula de Faraday.

Se basa en el experimento físico del mismo nombre, según el cual, disponiendo una envoltura metálica cerrada y conectada a tierra, cualquier fenómeno eléctrico, por intenso que sea, no causa ningún efecto en el interior de la envoltura. Esto se debe a que la envoltura mencionada sirve como pantalla o blindaje del interior.

Actualmente este tipo de sistema se construye a base de una red o malla de conductores que se coloca en la parte superior de la estructura a proteger, con suficientes conexiones a tierra para lograr en dicha malla una distribución uniforme del potencial de la tierra. La protección de superficies intermedias entre los cables que forman la red se logra mediante pequeñas puntas ionizadoras de la atmósfera que originan concentraciones de carga en ellas, las que, en condiciones de tormenta, proveen múltiples pilotos secundarios, lo que además proporciona muchas vías de entrada a la

descarga principal, cada una de ellas con una intensidad de corriente menor.

Este sistema es el que ha tenido un desarrollo mayor, pues según experimentos realizados por diversas instituciones, se han formulado reglamentaciones desde 1904, mismas que se revisan y corrigen periódicamente, lo cual proporciona una garantía efectiva de su funcionamiento. (figura 23).

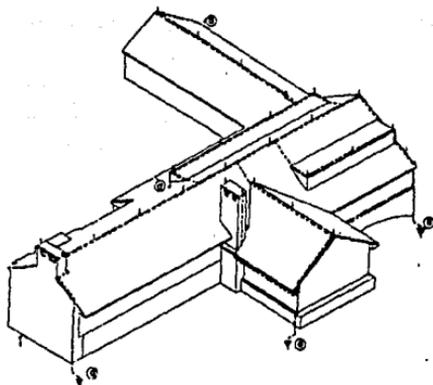


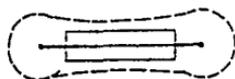
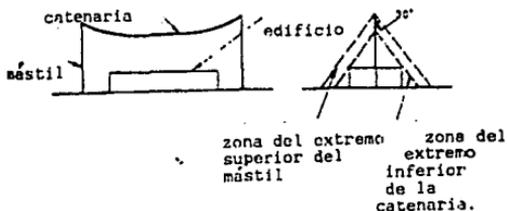
FIGURA 23. Pararrayos de jaula de Faraday.

* Telepararrayos o hilo de guarda.

Utilizado en construcciones de poca altura donde es posible suspender el conductor en la parte superior. También se utiliza normalmente en líneas de transmisión, sin embargo este punto no se tratará por ser otro el objetivo de éste trabajo.

La eficiencia de este tipo de pararrayos depende primordialmente del sistema de tierra, de que tan baja sea la impedancia de la misma, así como del valor que el efecto corona presente antes de la descarga.

El sistema telepararrayos se observa en la figura 24, donde se ejemplifica una zona de protección a base de una sola catenaria y de doble catenaria. Se debe poner especial cuidado en verificar que el edificio este dentro de la zona más baja de la catenaria. En el caso de la doble catenaria se puede tomar el ángulo interno de protección como de 45° .



Zona de protección de una catenaria sencilla.



Zona de protección de una catenaria doble.

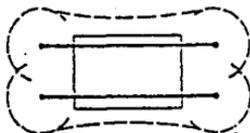


FIGURA 24. Telepararrayos.

Dentro de los pararrayos activos existen dos modelos básicamente.

1 Pararrayos radioactivo.

El húngaro Szillar fue el primero que pensó en la aplicación de materiales radioactivos para provocar una excitación artificial de la atmósfera y una producción de iones, con fines de protección contra los rayos. Para ello fabricó un pararrayos formado por una barra de cuatro metros de altura, encima de la cual colocó un plato con dos miligramos de bromuro de radio. Las observaciones de Szillar realizadas con este tipo de pararrayos lo llevó a la comprobación de que la cantidad de iones emitidos por este tipo de pararrayos era muy superior a la de la punta normal.

Ha sido posible aumentar la cantidad de iones producidos por el pararrayos radioactivo y limitar simultáneamente la cantidad de material radioactivo necesaria, aplicando al pararrayos un dispositivo de aceleración.

Actualmente existen fabricantes de sistemas pararrayos radioactivos que describen sus sistemas como muy superiores a los sistemas convencionales. Sin embargo entre los conocedores del tema se cree que estos sistemas no ofrecen mayor protección que los sistemas convencionales. Estudios profundos han sido realizados recientemente en este tipo de sistemas y han servido únicamente para demostrar lo que se creía anteriormente e incluso que protegen menos. Estos estudios han examinado los aspectos teóricos y experimentales de dichos sistemas comparándolos contra los sistemas convencionales.

Los fabricantes de sistemas radioactivos dicen que una gran área alrededor de la punta queda protegida debido a una elevada ionización del aire que alcanza la nube y disminuye su potencial por debajo del nivel de descarga. Esto no puede ser posible debido a que semejante nube protectora debería contener suficiente carga como para hacerla más peligrosa para el "área protegida" que la misma nube de tormenta.

Lo cierto es que, según los reportes de la marina de los Estados Unidos y de F.A.A. (Fuerza Aérea Americana), las puntas radioactivas contienen cierta cantidad de material radioactivo que emite radioactividad en el área cerca del extremo superior de la punta, que supuestamente provoca la ionización del aire y en consecuencia debería atraer al piloto primario desde una gran distancia. En efecto, los estudios muestran que la ionización del aire alrededor de una punta radioactiva es ligeramente superior que aquella alrededor de puntas convencionales, como claman los fabricantes, únicamente cuando el campo eléctrico de la atmósfera es tal como el que hay bajo cielo despejado. Cuando se aproxima una tormenta eléctrica y cambian rápidamente los campos eléctricos en la atmósfera, la punta radioactiva proporciona menor protección que una punta convencional siendo menos propensa a ser alcanzada por el rayo. Esto puede ser explicado por el hecho de que la nube de aire ionizado producida alrededor de la punta radiactiva es muy pequeña, se mueve

caprichosamente en la dirección del viento, permaneciendo un extremo unido a la parte superior de la punta y además actúa como un escudo sobre la punta reduciendo su efectividad para atraer al piloto primario.

En México, el control de las cápsulas radioactivas pasó a manos del Instituto Nacional de Energía Nuclear, tanto para localización como para mantenimiento. Finalmente su uso fue prohibido por la Secretaría de Salubridad y Asistencia en 1968.

‡ Pararrayos de efecto corona.

El pararrayos de efecto corona es otro tipo de pararrayos activo que evita la acumulación de cargas eléctricas en el lugar donde está instalado. Esto lo logra mediante un anillo equipotencial que sirve como acelerador atmosférico alrededor de su núcleo, sumando el efecto del anillo equipotencial al efecto de punta que tiene todo el pararrayos.

El anillo equipotencial en la punta del pararrayos es de sección rectangular, por lo que el campo electromagnético que se genera no es circular, siendo mayor en la parte interna. Con ello se logra mayor eficiencia en la emisión de iones cuando aumenta el gradiente electrostático de la atmósfera, creando un campo eléctrico en la dirección de la punta del pararrayos, guiando al piloto secundario que brota de la tierra. (figura 25).

Este tipo de pararrayos es más estable ante las variaciones de las condiciones atmosféricas.

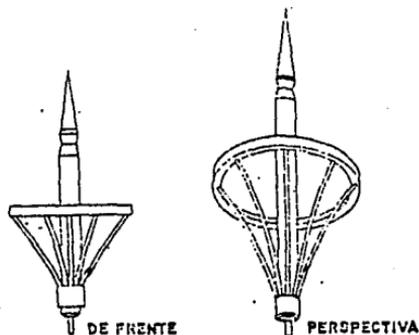


FIGURA 25.

2.4 REGLAMENTACION.

Hasta la fecha no existe en México algún reglamento específico sobre pararrayos. Para evitar posibles contradicciones en caso de basarnos en más de un reglamento de los varios que existen tanto en los Estados Unidos como en algunos países de Europa, hemos decidido basarnos en uno solo: Lightning Protection Code.

Editado en 1986 por la NFPA (National Fire Protection Association), preparado por el comité técnico de protección contra descargas y aprobado por la ANSI (American National Standards Institute).

Este reglamento cubre los requerimientos de protección contra descargas atmosféricas para edificios ordinarios, estructuras especiales, depósitos de uso general y aquellos utilizados para almacenar líquidos o gases inflamables, sin contemplar depósitos de explosivos. A continuación se menciona y explica brevemente sobre las estructuras anteriores y la forma de protegerlas.

2.4.1 PROTECCION DE EDIFICIOS ORDINARIOS.

Un edificio ordinario es aquel utilizado para propósitos generales, como puede ser comercial, industrial o residencial. Aquellos que no excedan de 23 m de altura se deben proteger con materiales clase I que se muestran en la tabla 1 de la figura 26. Para edificios de más de 23 m de altura se deben utilizar materiales clase II mostrados en la tabla 2 de la figura 26.

CLASE I

		Cobre	Aluminio
Conductor principal	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	peso/long.	278 gr/m	141 gr/m
	área	57400 CM 29 mm ²	95600 CM 50 mm ²
Conductor secundario	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	área	29240 CM	41100 CM

FIGURA 26. Tabla 1

CLASE II

		Cobre	Aluminio
Conductor principal	calibre c/hilo	15 AWG	13 AWG
	peso/long.	558 gr/m	283 gr/m
	área	115000 CM 58 mm ²	192000 CM 97 mm ²
Conductor secundario	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	área	26240 CM	41100 CM

FIGURA 26. Tabla 2.

Para los propósitos de este reglamento, los tipos de techos y sus pendientes se muestran en la figura 27.

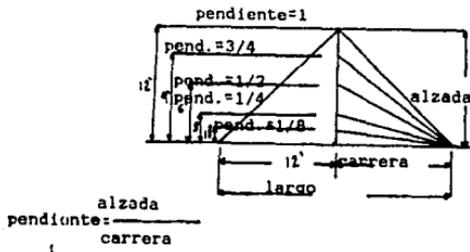


FIGURA 27.

Los materiales de los cuales debe estar hecho el sistema de protección deben ser resistentes a la corrosión o bien estar aceptablemente bien protegidos contra ella. No deben usarse combinaciones de materiales que formen un par electroquímico de tal naturaleza que en presencia de humedad la corrosión se acelere.

Se debe usar alguno de los siguientes materiales:

a) Cobre: Donde se utilice el cobre, este debe ser de la calidad requerida normalmente para cualquier trabajo eléctrico, generalmente designado como de 95% de conductividad después de recocido.

b) Aleaciones de cobre: Donde se utilice alguna aleación de cobre ésta debe ser al menos tan resistente a la corrosión como el cobre bajo condiciones similares.

c) Aluminio: Donde se use este material se debe cuidar de no tenerlo en contacto directo con la tierra, o se deteriorará rápidamente.

No deben instalarse conductores de cobre en superficies de aluminio, ni conductores de aluminio en superficies de cobre.

En la tabla 1 de la figura 26 se muestran los calibres y pesos mínimos para las puntas o terminaciones aéreas, tanto sólidas como tubulares, y para los conductores a usarse en edificios ordinarios y estructuras de no más de 23 m.

En la tabla 2 de la misma figura se muestran los calibres y pesos mínimos de puntas y conductores a usarse en edificios ordinarios y estructuras de más de 23 m de altura. Si el edificio tiene alguna parte de más de 23 m y otra menor a 23 m, los requerimientos de puntas y conductores clase II se aplicarán únicamente a la parte del edificio cuya altura exceda los 23 m de altura. El resto del edificio deberá ser protegido con puntas y conductores clase I. Se deben interconectar los conductores clase II y clase I para balancear el sistema.

Se deben tomar precauciones para evitar cualquier tendencia del material a deteriorarse debido a las condiciones locales. Donde un conductor de cobre este expuesto a la acción directa de una chimenea o bien cualquier gas corrosivo, debe ser protegido mediante la aplicación de una capa protectora de plomo. Dicha capa debe extenderse al menos 60 cm por debajo del extremo superior de la chimenea.

En cualquier parte del sistema de protección que pueda estar sujeto a daño mecánico, se le debe proteger con una cubierta. Si esta es metálica, en especial tubular, debe conectarse eléctricamente al conductor en dos puntos al menos.

Las puntas deben colocarse en cualquier parte del edificio que pueda ser alcanzada directamente por una descarga. Los conductores deben interconectar todas las puntas y deben formar un camino doble de las puntas hacia las conexiones a tierra, esto es que al menos dos conductores deben proveerse para cualquier tipo de estructura.

Cada conductor debe terminar en una conexión de tierra, el diseño, tamaño, profundidad y número de conexiones a tierra se discutirá más adelante.

Todas las conexiones a tierra deben interconectarse para proveer al sistema de un potencial de tierra común. Esto debe incluir el sistema de protección contra descargas atmosféricas, el sistema eléctrico, teléfono y antenas receptoras y transmisoras. También es recomendable aterrizar las tuberías metálicas de agua.

2.4.2 PROTECCION DE ESTRUCTURAS ESPECIALES.

Existen estructuras tales como postes, astas y mástiles los cuales deben protegerse con una punta, un conductor a tierra y una conexión a tierra. En el caso de ser metálicos, requieren unicamente de la puesta a tierra.

En el caso de estructuras infladas con aire, se les debe proteger con un conductor que las rodee por la parte más alta y si es posible conectarlo a tierra.

2.4.3 PROTECCION DE CHIMENEAS DE SERVICIO PESADO.

Se considera una chimenea de servicio pesado a aquella que tenga más de 0.32 m² de sección y una altura mayor de 23 m.

Deben protegerse los cables de bajada con una capa de plomo de 1.6 mm. de espesor así como las puntas, conectores y soportes.

Las puntas deben ser de cobre o acero inoxidable y de una altura de 46 a 76 cm, con un diámetro de no menos de 15 mm. Estas puntas deben colocarse a intervalos no mayores de 2.4 m. En el caso de chimeneas de sección cuadrada o rectangular, deben colocarse puntas a no más de 0.6 m de las aristas y siguiendo el criterio anterior de intervalos no mayores de 2.4 m entre puntas.

Deben conectarse entre sí las puntas con un conductor que recorra todo el perímetro de la chimenea. No deben ponerse menos de dos conductores de bajada y las conexiones a tierra dependen de las condiciones locales del suelo.

En el caso de chimeneas metálicas de servicio pesado, estas requieren unicamente de las puestas a tierra colocándole dos conductores en la parte baja y en lados opuestos, como se indica en la figura 26.

2.4.4 PROTECCION DE DEPOSITOS DE LIQUIDOS O GASES FLAMABLES.

Gran parte de los depósitos de este tipo estan sellados y son metálicos con espesores de más de 5 mm, lo que los hace resistentes a una descarga directa sin necesidad de una protección adicional.

Otros tipos de depósitos deben ser protegidos con puntas y conductores de bajada, o bien con telepararrayos, que en este caso es lo más efectivo, pues se evita el riesgo de chispa o de altas temperaturas cerca del contenido del depósito.

A max= 2.40 m entre puntas.

B :Las puntas, cables y conectores deben ser de un material resistente a la corrosión, o bien de cobre con una capa de plomo de al menos 1.6 mm de espesor en los 8m superiores.

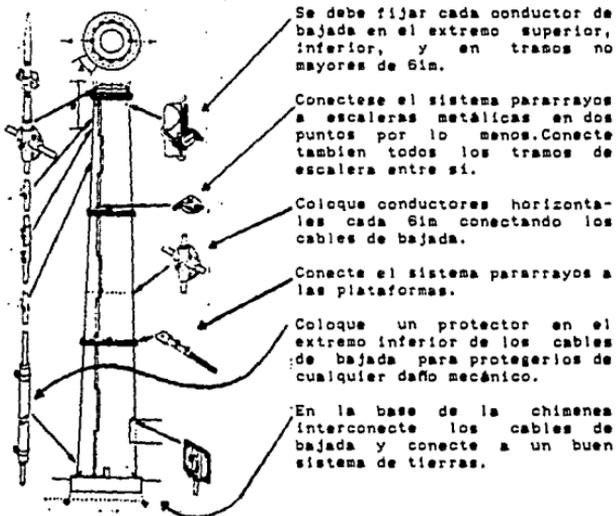


Figura 28

CAPITULO 3.

CRITERIOS DE DISEÑO E INSTALACION ELEMENTOS DE ANALISIS.

Los criterios de diseño e instalación están basados en la información que nos proporcionan las normas NFPA (National Fire Protection Association) y U.L. (Underwriters Laboratories), que ofrecen una garantía.

Los elementos a considerar para un diseño eficaz son:

- 1.- Ubicación de las puntas.
- 2.- Trayectoria de los conductores.
- 3.- Ubicación de los dispersores, electrodos.
- 4.- Conexiones adicionales.
- 5.- Sistemas de instalación.
- 6.- Materiales, especificaciones, reglamentación.

En el diseño de sistemas de protección hay que considerar la elevación de la estructura a proteger y el tipo y forma de su techo, y para ello se han clasificado en dos grupos generales y en subdivisiones.

a) Edificios de la clase I.

Son aquellos que tienen una altura inferior a 23 m.

b) Edificios de la clase II.

Son todos los que exceden de 23 m de altura y todo edificio que tiene una estructura de acero, sin importar su altura.

La diferencia radica en que para los edificios de la clase II, los conductores y otros elementos del sistema son de dimensiones mayores, esto se verá más adelante.

La subdivisión que se ha hecho es debida a la pendiente de los techos:

a) Techos o azoteas planas o de pendiente ligera.

Son todos aquellos que no exceden de 12 m de ancho y que tienen una pendiente no mayor de 1/8 o que tienen más de 12 m de ancho con pendiente menor de 1/4.

b) Techos inclinados.

Son todos los que tienen una inclinación mayor a 1/8 con ancho de 12 m o mayor de 1/4 con mayor anchura. (Figura 29).

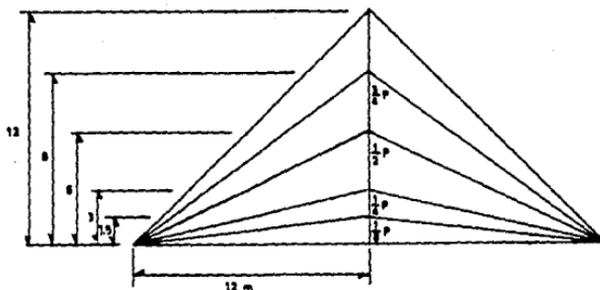


FIGURA 29. Inclinación de los techos.

Además de estas clasificaciones, hay otras estructuras que tienen un trato especial, estas se verán en cada uno de los elementos.

3.1 UBICACION DE LAS PUNTAS.

Como se mencionó en el capítulo 1, la carga tiende a concentrarse en las esquinas o contornos, por lo que las puntas deben colocarse en esos lugares, que dependen del tipo y forma del techo o estructura.

Generalidades:

El intervalo de separación entre las puntas es de 6 m como máximo para puntas de no más de 60 cm. La separación mínima entre las puntas es de 60 cm, la altura va desde 25 cm hasta 91 cm, (figura 30). Las puntas de más de 60 cm de altura deben llevar soportes que las sujeten aproximadamente a la mitad, no más abajo pero sí puede ser más arriba, (figura 31).

Las puntas deben colocarse a 60 cm o menos de los extremos de los bordes y ángulos de los techos. (Figura 30).

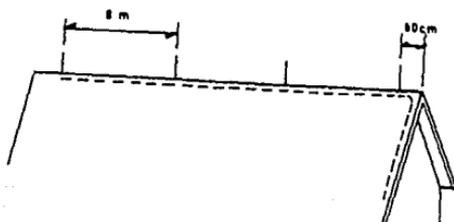


FIGURA 3 . Separación de las puntas.

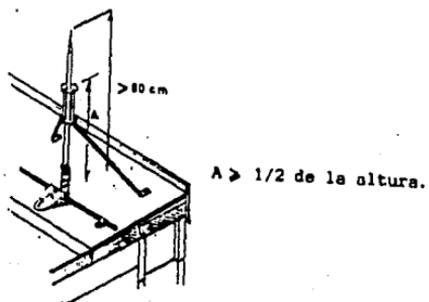


FIGURA 31. Soporte de las puntas.

A) Techos inclinados.

Se deben colocar en la cumbrera de los techos.

B) Techos planos o de pendiente ligera.

Las puntas deben ir localizadas en torno al perímetro, espaciadas 6 m o 7.6 m según el tipo de punta de que se trate.

Cuando el techo exceda de 15 m de ancho o largo debe llevar puntas adicionales a intervalos no mayores de 15 m en las zonas intermedias, sin importar el tipo de punta (mayor o menor de 60 cm). (Figura 32).

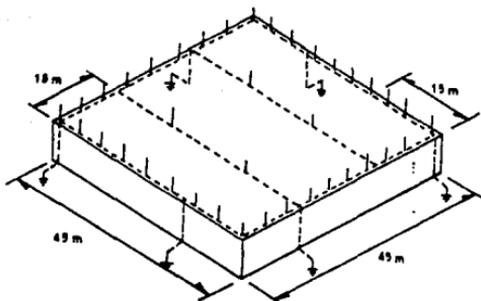


FIGURA 32. Puntas en zonas intermedias.

C) En salientes con techos inclinados.

Las salientes que tienen la misma o mayor altura que el techo principal deben protegerse con todo el sistema normalmente especificado.

Las salientes que se encuentran abajo de la cumbrera principal necesitan resguardo en todas las superficies que sobresalgan de una zona de protección según la relación de 2 a 1. Esto en los edificios de menos de 7.5 m de altura. (Figura 33).

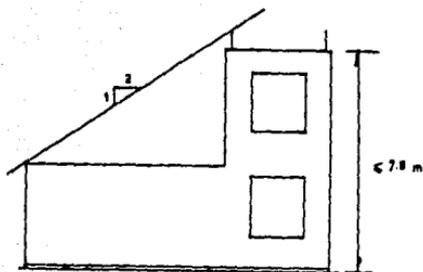


FIGURA 33. Relación 2 a 1.

D) En azoteas con salientes en sus perímetros.

Cuando existen salientes en los perímetros de las azoteas planas, se considera el borde continuo y las puntas se colocan en una distancia no mayor de 60 cm de las salientes más prominentes del borde del techado.

Si algún saliente tiene más de 60 cm de distancia al borde considerado necesita una punta de protección. (Figura 34).

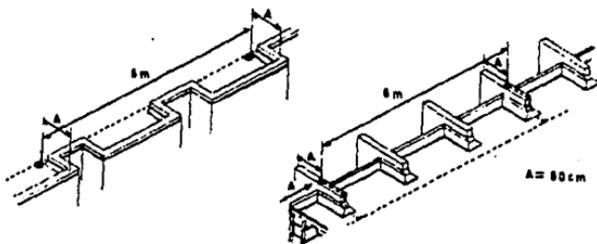


FIGURA 34. Salientes en los techos.

E) En edificios o niveles altos con zonas situadas en niveles bajos.

Se considera que los edificios de hasta 7.50 m de altura protegen zonas situadas en niveles más bajos formando una zona de protección, según una relación 2 a 1.

Se considera que los edificios de 7.50 m hasta 15 m de altura protegen zonas situadas en niveles más bajos formando una zona de protección con una relación de 1 a 1. (Figura 35).

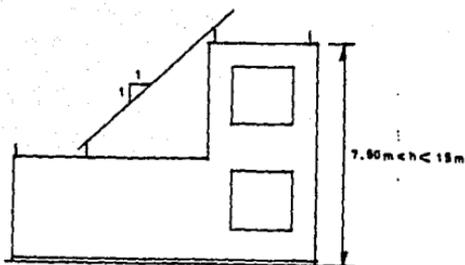


FIGURA 35. Relación 1 a 1.

Los edificios de más de 15 m de altura protegen las zonas más bajas dentro de un arco de 45 m de radio, cuyos extremos quedan tangentes al punto más elevado del edificio y al terreno, como lo indica la gráfica. (Figura 36).

Fuera de estas zonas es necesario colocar puntas y demás elementos del sistema.

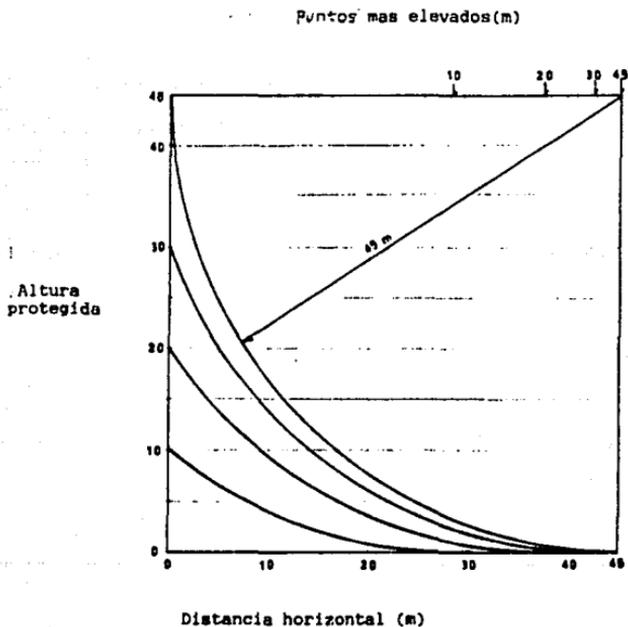


FIGURA 36.

F) Cubos de luz o superficies abiertas en azoteas.

Si la extensión abierta, como los cubos de luz, tiene un perímetro mayor de 92 m debe quedar protegida, también si alguno de sus lados tiene una longitud de 15 m o más.

G) Techos curvos o en forma de cúpula.

Se colocan las puntas necesarias en techos curvos o en forma de cúpula para que protejan una zona de acuerdo con la relación 2 a 1, o la relación 1 a 1 según el caso.

H) Chimeneas y ventilas.

Cuando las chimeneas o ventilas no estén dentro de la zona de protección, deben protegerse con las puntas necesarias. (Figura 37).

En chimeneas y ventilas metálicas prefabricadas, sólo si el espesor del metal es superior a 4.8 mm no será necesario colocar las puntas pero sí interconectar esta chimenea o ventila a todo el sistema de protección. (Figura 38).

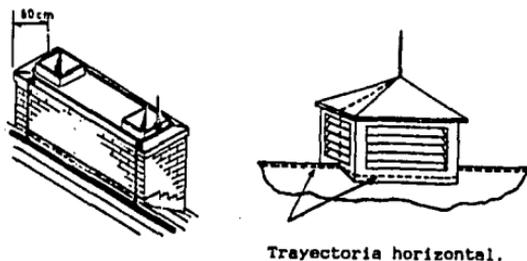


FIGURA 37. Chimeneas y ventilas.

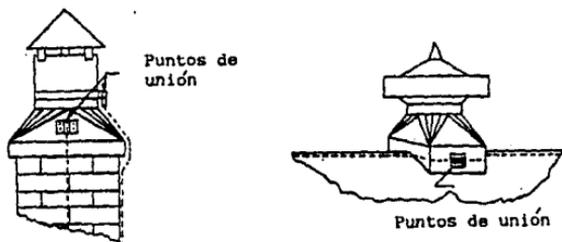


FIGURA 38. Chimeneas y ventilas prefabricadas.

I) Mástiles, astas o postes.

Estas estructuras requieren una punta sólo si no son de metal.

J) Torres y tanques elevados.

No requieren la punta, sólo la conexión a tierra.

K) Chimeneas.

Las estructuras que tienen un área mayor de 0.32 m² y una altura mayor de 23 m, son consideradas dentro del grupo de chimeneas y dentro del grupo II de la clasificación general.

Las puntas deben ser colocadas uniformemente en el perímetro de la parte más alta, a intervalos no mayores de 2.4 m y a no más de 50 cm de las esquinas de las estructuras no circulares. (Figura 39).

Las puntas deben ser de 45 cm a 76 cm de altura.

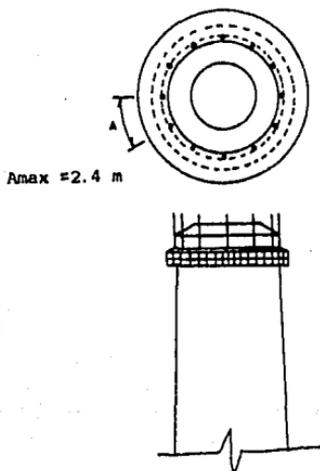


FIGURA 39. Puntas en la chimenea circular.

L) Silos.

Las puntas estarán distribuidas uniformemente a intervalos no mayores de 6 m en el perímetro. No serán menos de 4 puntas, sólo si termina en domo o cúpula será una y si es de metal no llevará punta alguna. (Figura 40).

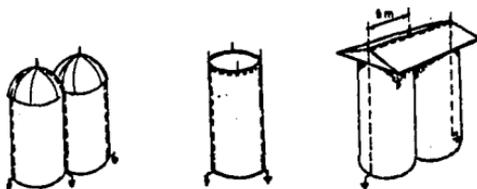


FIGURA 40. Puntas en los silos.

3.2 TRAYECTORIA DE LOS CONDUCTORES.

Los conductores son los elementos que guían la corriente de la descarga de la punta a los electrodos y las trayectorias que sigan deben permitir un aterrizaje lo más eficaz posible.

Hay 2 tipos de conductores: los principales, que conectan la punta con el electrodo en una trayectoria directa y los secundarios que básicamente son ramificaciones, conectan las puntas con el conductor o conductores principales.

En algunos casos no es necesario la instalación de los conductores secundarios. La única diferencia entre estos dos tipos de conductores es el calibre, que se verá en el inciso correspondiente.

Los criterios de diseño de las trayectorias de los conductores para todos los edificios son los mismos, la diferencia entre la clase I y la clase II está en el calibre del conductor.

A) Conductores horizontales.

1.- Tendido de conductores en techos y azoteas.

Los conductores deben formar una malla, de manera que de cada punta partan 2 trayectorias, horizontal o descendente hasta las conexiones con las terminales a tierra.

Esta malla o tendido de conductores debe ser horizontal a lo largo de las cumbreras, de techos abovedados, en los perímetros de techos planos y a través de extensiones planas de azoteas, al igual que en chimeneas y silos.

2.- Eliminación de desniveles.

Los conductores deben tener un recorrido horizontal o descendente, libres de cualquier trayectoria en "U" o en "V", que se pueden presentar en chimeneas, ventilas, tragaluces, etc., en estos casos, los desniveles deben estar provistos con un conductor de bajada desde la base de la chimenea, ventila o tragaluz a tierra o con un conductor conectado al principal. (Figura 41).

3.- Curvas ligeras.

En todas las trayectorias de los conductores no deben aparecer ángulos mayores de 90 ni radios de curvatura menores de 20 cm. (Figura 42).

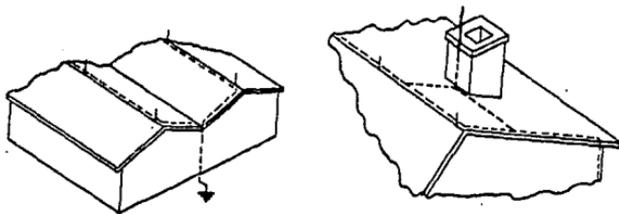


FIGURA 41 Trayectorias en "U" y en "V".



FIGURA 42. Curvas ligeras.

4.- Soportes.

Si es necesario, el conductor puede tenderse en forma aérea siempre y cuando no sea una distancia mayor de 90 cm. Si es mayor y hasta 1.80 m, el conductor puede ir sobre una varilla de 15.9 mm (5/8") anclada firmemente en los extremos, sirviendo como puente, de manera que el conductor no tenga desplazamientos.

- 5.- Redes en azoteas o techos planos de más de 15 m de ancho y 45 m de largo.

Las azoteas o techos planos con pendiente ligera que tengan más de 15 m de ancho y 45 m de largo, deben tener conductores extras, además del conductor principal, de manera que formen una malla con rectángulos de 15 m por 45 m como máximo. La cantidad de los conductores extras dependen de las dimensiones del techo.

- 6.- En chimeneas.

En chimeneas de más de 49 m de altura, además del conductor horizontal en la parte superior, es necesario instalar un conductor horizontal alrededor de la estructura aproximadamente a la mitad de la altura, uniendo a los conductores de bajada.

- 7.- Edificios con estructura metálica.

En estos casos, no son necesarios los conductores, las puntas van unidas a la estructura metálica, siempre y cuando se pueda garantizar la conveniente permanencia de una baja resistencia a tierra.

- 8.- Excepciones.

a) Se pueden instalar conductores en bajadas desde un nivel alto a otro más bajo, sin algún descenso extra si el tramo de conductor horizontal en el nivel más bajo no excede de 12 m. (Figura 43).

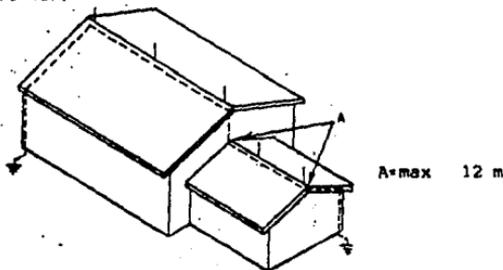
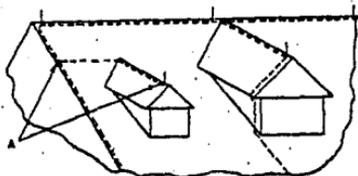


FIGURA 43.

b) Las puntas pueden tener una sola trayectoria al conductor principal, si están en un nivel más bajo y si su longitud total desde la punta hasta el conductor principal no es mayor de 4.90 m. (Figura 44).



$$A = \text{max } 4.90 \text{ m}$$

FIGURA 44.

B) Conductores en bajadas a tierra.

Son los conductores que conectan la red horizontal con los electrodos o dispersores.

Para cualquier tipo de estructura deben ser 2 como mínimo y hasta 76.2 m de perímetro, colocándose diagonalmente opuestas, aumentando un conductor por cada 30 m o fracción, separados 30 m como máximo (cuando son más de 2).

Su posición depende de la ubicación de las tierras, la colocación de las puntas, que se logren trayectorias más directas, la ubicación de los cuerpos metálicos, las tuberías de agua y las condiciones del subsuelo.

Se debe lograr una distribución uniforme del potencial de tierra a lo largo del perímetro.

1.- Las estructuras con perímetros irregulares.

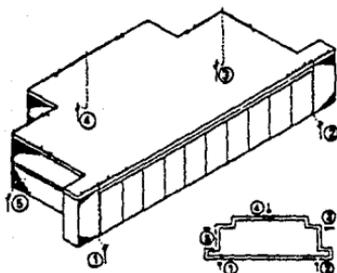
Pueden tener más conductores de bajada dependiendo de la necesidad de proveer 2 trayectorias para cada punta. (Figura 45).

2.- Chimeneas.

Deben llevar 2 conductores de bajada como mínimo, opuestos diagonalmente.

3.- Postes, astas, antenas.

Deben llevar un conductor de bajada, salvo que estas estructuras sean metálicas, sólo se conectarán al sistema.



Espaciamiento:

1-2: 40m

2-3: 26m

3-4: 26m

4-5: 26m

5-1: 26m

Perímetro total: 144m

Tierras requeridas: 5

FIGURA 45. Distribución de bajadas en perímetros irregulares.

4.- Edificios con estructura metálica.

Se suprimen los conductores de bajada.

5.- Silos.

Los silos pueden estar a diferentes distancias del edificio principal o aislados. Si están a menos de 1.80 m del edificio, el conductor horizontal se debe unir al principal sin necesidad del conductor de bajada. Si la distancia de la punta al principal es de más de 4.90 m, requiere conductor de bajada.

Los silos llevan 2 conductores de bajada cuando están a más de 1.80 m de distancia al edificio y llevan 3 conductores cuando son torres dobles, el conductor central es el común a las 2 torres. (Figura 46).

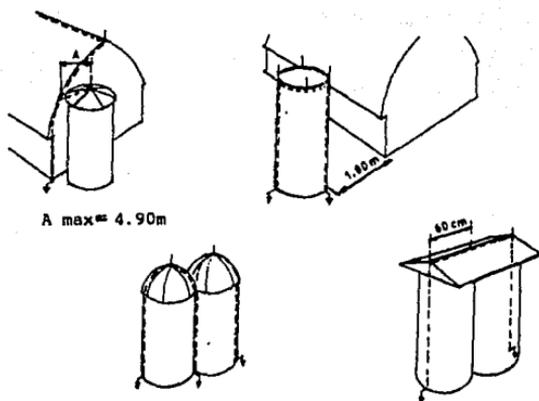


FIGURA 46. Conductores de bajada en silos.

e) Protección de los conductores de bajada.

Para evitar daños físicos o desplazamiento en los conductores de bajada, en las construcciones que lo necesiten, como escuelas, iglesias, edificios públicos y similares, deben estar protegidos desde el suelo hasta una distancia mínima de 1.80 m de altura.

Para esta protección, se sugieren tuberías no metálicas, pero en caso de ser metálicas, deben estar eléctricamente unidas al conductor en las partes superior e inferior, y deben llevar en la parte superior un desconector de tierra para permitir su medición de la resistencia a tierra.

En un ambiente corrosivo, los conductores de bajada deben estar protegidos contra la corrosión al menos 90 cm por arriba del suelo y 90 cm abajo de la superficie.

3.3 UBICACION DE LOS DISPERSORES O ELECTRODOS.

Los electrodos son los elementos terminales de la instalación, a través de ellos se logra la dispersión de la corriente de la descarga en la tierra.

Cada conductor de bajada debe terminar con un electrodo logrando una dispersión fácil de la descarga con un buen contacto con la tierra.

Todos los electrodos deben colocarse a no menos de 60 cm de la pared de los cimientos. La forma, el tamaño, la profundidad y el número de electrodos dependen del tipo de suelo.

A) Subsuelo arcilloso húmedo profundo.

El electrodo, que en este caso es una varilla, debe clavarse verticalmente 3 m de profundidad como mínimo. No debe haber perforaciones previas y después debe compactarse la tierra tanto en la zona de la varilla como en la del conductor que une la bajada con la varilla. Este conductor debe colocarse a 30 cm de profundidad. (Figura 47).

B) Subsuelo arenoso o de gravilla.

El electrodo, varilla, debe colocarse igual que en el caso anterior pero dos o más varillas por cada conductor de bajada y la distancia entre ellas debe ser de 3 m.

Si son 2 varillas pueden colocarse en forma lineal, de "T" o de "Y" según sea necesario. (Figura 48).

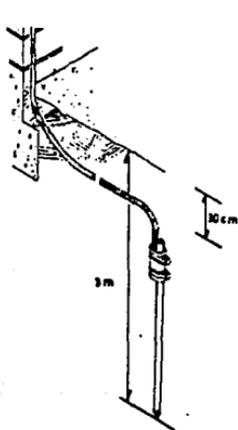


FIGURA 47.

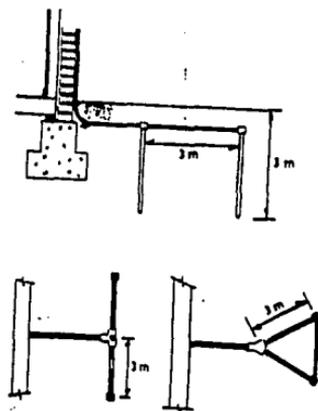


FIGURA 48.

Cuando el subsuelo arenoso o de gravilla es muy seco, es necesario colocar 3 varillas y la distancia entre ellas puede ser de 1.80 m, respetando los 3 m de profundidad de cada una.

C) Subsuelo de tepetate.

Cuando no es posible clavar una varilla en el suelo debido a este, como es el caso del de tepetate, se utiliza otro tipo de electrodo, el rehilete de tierra. El rehilete es un electrodo formado por 4 placas de metal unidas en una de sus aristas formando una cruz en una de las vistas.

El rehilete va enterrado en un pozo a 3 m de distancia del edificio como mínimo. El pozo debe tener dimensiones de 1 m de ancho por 1 m de largo por 1 m de profundidad y en el fondo, otro más pequeño, de 50 cm por 50 cm por 50 cm, en este se coloca el rehilete, se cubre con una mezcla de 3 partes de carbón y 1 de sal. La tierra del pozo superior debe ser la que presente las mejores condiciones de conductividad. Todo al máximo grado de compactación que sea posible.

El rehilete va unido al conductor de bajada mediante un cable tendido en una zanja de 30 a 60 cm de profundidad. (Figura 49).

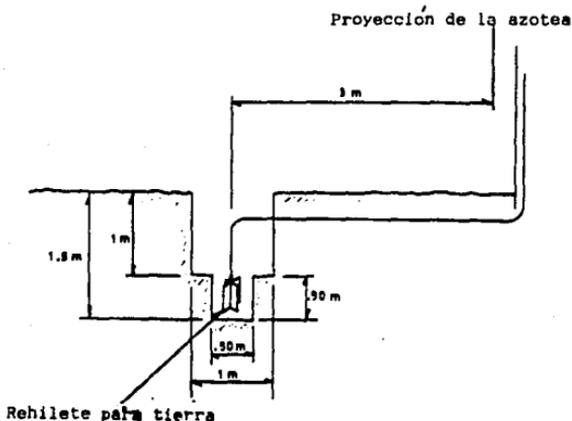


FIGURA 49. Rehilete.

D) Subsuelo poco profundo.

Cuando el subsuelo está formado por un lecho rocoso, los conductores deben ser alojados en zanjas que alejen del edificio cada uno de los conductores de bajada. Las dimensiones de estas zanjas dependen del tipo de suelo de la superficie, si es de arcilla, la profundidad debe ser de 30 a 60 cm y de 3.7 m de longitud como mínimo. Si es de arena o gravilla, 60 cm de profundidad y 7.3 m de longitud. (Figura 50).

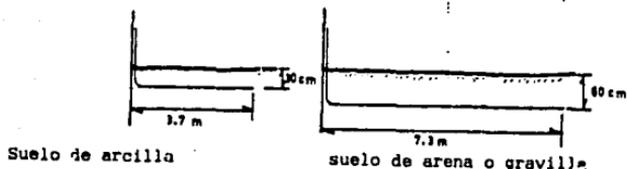


FIGURA 50.

Si no es practicable hacer una zanja con esas dimensiones, el cable debe ir tendido sobre la roca hasta una distancia mínima de 60 cm de los cimientos del edificio y unirlo a una placa de cobre de 0.8 mm de espesor como mínimo y una superficie de contacto de 0.18 m² como mínimo.

Si el subsuelo tiene menos de 30 cm de profundidad, se tiende un cable rodeando el edificio protegido, en una zanja si es posible o en las grietas de la roca formando un anillo perimetral, este conductor debe ser del mismo calibre que el conductor principal, los conductores de bajada deben conectarse a este anillo perimetral, de este anillo se tienden conductores a una distancia mínima de 3.7 m, alojados en zanjas o en las grietas de la roca, terminan en fosas u oquedades donde se depositan placas de cobre de 0.8 mm de espesor y 0.64 m² de superficie de contacto o su equivalente en metal resistente a la corrosión (acero galvanizado, tubería, rollos de alambre galvanizado, etc.), estas placas o metales se conectan a los conductores y se cubren con tierra suelta que facilite la penetración del agua de lluvia, para lograr una mejor dispersión de la corriente de la descarga. (Figura 51).

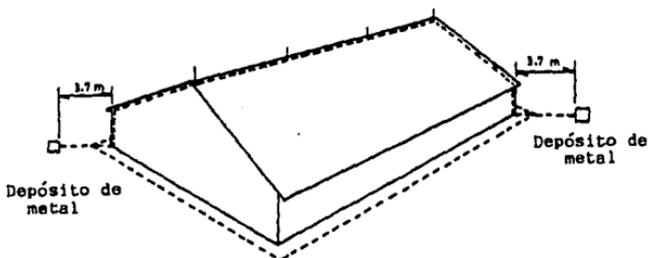


FIGURA 51.

En los edificios con estructura de metal, cada tercer columna del perímetro debe ir conectada a tierra mediante un electrodo, no distando 18 m entre ellas. Los electrodos deben conectarse en el punto más bajo de cada columna con placas de superficie no menores a 52 cm² o con varillas. (Figura 52).

Si la columna tiene un contacto con la tierra que se extiende a 3 m de profundidad, puede servir como electrodo.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

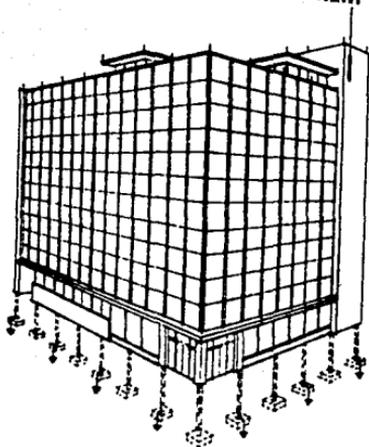


FIGURA 52.

En las chimeneas, cada conductor de bajada debe estar conectado a un electrodo, del tipo que se requiera según el suelo.

Entre el conductor de bajada y el electrodo o los electrodos debe ir un desconectador de tierra para permitir la medición de la resistencia, que debe ser la mínima posible. Se considera buena una resistencia de 25 ohms.

Entre el desconectador de tierra y el electrodo no debe existir alguna conexión.

3.4 CONEXIONES ADICIONALES.

En los edificios hay elementos metálicos y/o instalaciones que son propios de la construcción y que precisamente por ser metálicos, merecen especial cuidado, en ellos se pueden presentar descargas atmosféricas si se localizan en las partes altas o fuera de las zonas de protección del sistema, también pueden presentar corrientes inducidas por la cercanía a los conductores del sistema de protección al momento de ocurrir una descarga.

Igualmente pueden aparecer corrientes inducidas en los sistemas de tierras de las instalaciones eléctricas o de comunicación.

Todos estos elementos deben estar protegidos y/o formar parte del sistema, para lograr una protección eficaz y segura de todo el edificio y su contenido.

Estos elementos los podemos dividir en 3 grupos: cuerpos que pueden recibir una descarga, cuerpos metálicos donde se pueden presentar corrientes inducidas y los sistemas que tienen tierra común.

A) Cuerpos metálicos que pueden recibir una descarga.

Todos los cuerpos metálicos que se encuentran en la parte alta o fuera de la zona de protección tales como chimeneas, respiraderos, ventilas, etc. y que tengan un espesor mayor a 4.8 mm deben conectarse al sistema bajo los mismos criterios de diseño. Solamente se sustituye la punta por el cuerpo metálico.

Si los cuerpos metálicos no son de lámina, de manera que no se pueda medir su espesor, se toma en cuenta su superficie, que debe ser mayor de 0.26 m² o que tenga un volumen de 0.16 m³ o mayor, se sustituye la punta.

En el caso de los mástiles de metal, de las antenas de comunicaciones, también deben conectarse al sistema con un conductor del mismo calibre que el conductor principal.

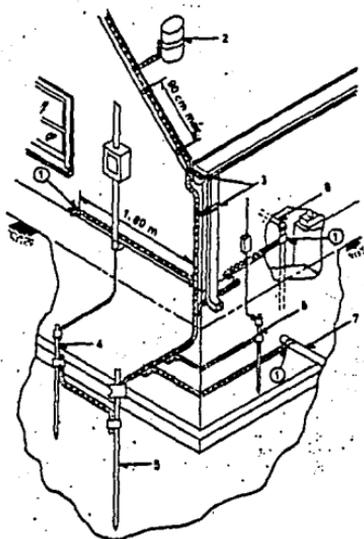
En cuanto al sistema de recepción de señales, deben estar resguardados con los sistemas de protección y unidades de descarga diseñadas para tal fin.

B) Cuerpos metálicos cercanos al sistema de protección.

Todos los cuerpos metálicos que se encuentren cerca de los conductores del sistema de protección o de algún otro cuerpo que este conectado, como marcos de las puertas y ventanas, ductos de ventilación o de drenaje, etc. que estén en el exterior del edificio deben ser conectados al sistema. Se considera cerca cuando están a una distancia de 1.80 m o menos.

También deben conectarse todos los cuerpos metálicos que estén en el interior del edificio cerca de los conductores (1.80 m o menos).

La red de agua del edificio al igual que el sistema de suministro de gas deben ligarse al sistema de protección. (Figura 53).



- 1.- Puntos de unión de la red de agua.
- 2.- Conexión de una chimenea.
- 3.- Conexión del sistema de agua de lluvia.
- 4.- Tierra del servicio eléctrico.
- 5.- Tierra del sistema pararrayos.
- 6.- Tierra del sistema telefónico.
- 7.- Toma de agua.
- 8.- Tubería interior de agua.

FIGURA 53. Cuerpos metálicos cercanos y tierra común.

Algunos de los cuerpos metálicos que puedan ser conductores o de inductancia, deben conectarse.

En los edificios con estructura metálica, la misma forma parte del sistema, como se mencionó anteriormente. Los cuerpos metálicos que no sean parte de la estructura, pero que se encuentren cerca, deben conectarse al sistema.

C) Tierra común.

Todos los sistemas de tierras de las instalaciones de servicio o comunicaciones del edificio deben interconectarse con el sistema de protección. Esto incluye a los sistemas: eléctrico, telefónico, de tierra de las antenas o cualquier otro sistema.

Puede ser que estas instalaciones de servicio o comunicaciones tengan conectada su tierra a la red de suministro de agua, en tal caso, sólo es necesario conectar las tuberías al sistema de protección en los puntos más cercanos a éste. (Figura 53).

En la actualidad son muy usadas las tuberías de material no conductor que se alternan con las metálicas, en este caso se deben usar puentes con conductores del mismo calibre que el conductor principal del sistema o bien, la conexión debe hacerse en donde la tubería sea eléctricamente conductora.

3.5 SISTEMAS DE INSTALACION.

Otro elemento de análisis para el diseño de un sistema de protección es la forma de hacer la instalación, que depende en gran medida del tipo de edificio o construcción a proteger, en donde se quieren y deben instalar los conductores. En cuanto a las puntas y los electrodos, su instalación es más estandar.

Los sistemas de instalación son de 3 tipos:

A) Aparente.

Los conductores se instalan en la parte exterior de los techos y paredes, con sus respectivos sujetadores y demás elementos, de manera que su trayectoria sea fácilmente localizada y perdiéndose solamente en los lugares donde se introduce en el suelo o en las tuberías de protección adyacentes al suelo.

Es preferible este sistema de instalación para cualquier corrección o modificación posterior, los conductores pueden sufrir desplazamiento o daños mecánicos después de una descarga y su arreglo resulta más fácil.

B) Ocultos.

Los conductores pueden ir en ductos no metálicos en el exterior del edificio o en el interior con o sin ductos, o en el interior de las paredes y losas.

Cuando se utilizan ductos metálicos, el ducto debe ir conectado al conductor en los extremos, donde entra y sale el conductor.

La instalación puede ir oculta en concreto, los conductores son alojados junto a las varillas, y deben unirse conductores y varillas en los extremos de la viga de concreto, estas uniones deben ser a intervalos no mayores de 30 m cuando son muy largos. La instalación se realiza cuando se está construyendo el edificio.

La instalación también es oculta cuando los conductores van alojados atrás de las vigas en techos y paredes,

entre la pared, entre el piso. Generalmente se hace cuando las construcciones son o llevan recubrimientos de madera.

La instalación oculta tiene algunas ventajas importantes sobre el sistema aparente, el sistema esta protegido contra cualquier actividad en el interior o exterior del edificio, se pueden hacer mejores conexiones a los cuerpos metálicos de conducción o de inductancia y el aspecto arquitectónico no se ve alterado.

D) Estructuras metálicas.

En los edificios con estructura metálica, como se ha visto anteriormente, los conductores son suprimidos por la propia estructura convirtiéndose el parte del sistema de protección. Lo único que se debe hacer es verificar su conductividad presente y futura.

3.6 MATERIALES, ESPECIFICACIONES, REGLAMENTACION.

Generalidades:

Los materiales con que deben estar hechos todos los elementos empleados en el sistema de protección contra descargas atmosféricas deben ser resistentes a la corrosión o estar aceptablemente protegidos contra ella.

No se deben usar combinaciones de materiales que formen un par electrolítico de tal naturaleza que la corrosión se acelera.

Los materiales usados en Mexico son el aluminio, el cobre y el bronce.

Materiales:

a) Cobre:

El cobre debe ser de la misma calidad que el ordinariamente requerido para los trabajos eléctricos comerciales, generalmente designados con 95 % de conductividad.

El cobre debe usarse en todas las instalaciones de tierra.

b) Bronces:

Esta aleación debe tener la misma resistencia a la corrosión que el cobre.

c) Aluminio:

Donde se use aluminio, se debe tener cuidado de no ponerlo en contacto con la tierra o donde sea rápidamente deteriorado. El aluminio debe llegar hasta 30 cm sobre en nivel del suelo. No debe utilizarse cuando vaya a estar en contacto con cal, compuestos de cal o pintura con base alcalina, ya que estos compuestos son muy perjudiciales para el aluminio. Tampoco debe utilizarse donde se prevea la acumulación de hojas secas o humedad.

Los elementos de aluminio no deben ser instalados en superficies de cobre.

Los conductores de cobre y aluminio deben unirse con conectores bimetálicos y no directamente.

Algunos elementos pueden quedar instalados cerca de la exposición de gases de chimeneas u otros gases corrosivos. Para evitar este tipo de daños, los elementos deben ser cubiertos al menos 60 cm abajo de la parte alta de la chimenea.

Todos los elementos del sistema de protección incluyendo los tornillos, deben ser de estos materiales y diseñados específicamente para estos sistemas.

No se deben hacer adaptaciones con otros materiales ni improvisaciones.

Las especificaciones para cada elemento son:

A) Puntas.

Deben ser de cobre macizo, con un diámetro de 13 mm y terminar en punta, con longitud de 25, 30 o 40 cm.

También de cobre pero tubular con un diámetro de 16 mm, espesor de 0.8 mm y longitud de 1.22 m.

En la base deben terminar en rosca de no menos de 5 hilos.

Para su mejor conservación se sugieren cromadas o niqueladas.

B) Conductores.

Se utilizan de acuerdo con la clase de edificio:

CLASE I

		Cobre	Aluminio
Conductor principal	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	peso/long.	278 gr/m	141 gr/m
	área	57400 CM 29 mm ²	99600 CM 50 mm ²
Conductor secundario	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	área	29240 CM	41100 CM

CLASE II

		Cobre	Aluminio
Conductor principal	calibre c/hilo	15 AWG	13 AWG
	peso/long.	558 gr/m	283 gr/m
	área	115000 CM 58 mm ²	192000 CM 97 mm ²
Conductor secundario	calibre c/hilo	17 AWG	14 AWG
	área	29240 CM	41100 CM

Todos los conductores son de cable trenzado.

Los conductores que conecten a sistemas metálicos de tuberías de agua, a ductos metálicos u otros cuerpos que tengan una resistencia baja deben ser del mismo calibre que el conductor principal.

C) Bases, conectores y desconectores.

Todos los elementos que sirven para unir cables, así como las bases para las puntas, las abrazaderas para tierra y los desconectores para tierra deben ser de cobre o de alguna aleación de cobre con un espesor mínimo de 2,38 mm.

D) Electrodo.

Son de dos tipos:

* Las varillas

Deben ser de acero chapado con cobre, de cobre macizo o acero inoxidable, de 13 mm de diámetro y de 2,44 m de largo como dimensiones mínimas.

* Los rehiletos

Deben ser construidos con lámina de cobre calibre 20 AWG como mínimo y con una superficie de contacto no menos de 0,20 m².

E) Abrazaderas para cable.

Estos elementos deben estar firmemente sujetos a la construcción a intervalos más o menos uniformes de 90 cm como mínimo.

Los clavos, pernos o tornillos que se utilicen para sujetar a las abrazaderas deben ser al igual que estas, del mismo material que el conductor.

F) Sujetadores para cable y bases.

Son tornillos especiales para tal fin, deben tener un diámetro no menor de 5.4 mm.

Los agujeros donde vayan a ser colocados deben ser del tamaño correcto, hechos con herramientas adecuadas, en tabique o piedra más que en juntas de mortero. Deben ser capaces de resistir una prueba de tracción de 450 kg.

G) Abrazaderas para tierra.

Deben permitir un contacto de por lo menos 35 mm² entre el cable y la terminal.

Reglamentación.

Como se mencionó al principio del presente capítulo, los criterios de diseño están basados en las normas de la NFFA y de UL, en México no existe algún tipo de reglamentación en la que se puedan basar los constructores y diseñadores de sistemas de protección contra descargas atmosféricas en edificios, quedando únicamente las normas mencionadas.

CAPITULO 4

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DECISION DE INSTALAR UN SISTEMA.

El rayo ocasiona más víctimas que cualquier otro fenómeno natural, el valor de los bienes materiales que destruye anualmente asciende a varios millones de pesos y los incendios forestales provocados por el rayo son incontables. Además de las interrupciones en la energía eléctrica que pueden originar peligros para la necesaria continuidad de estos servicios.

Así pues, para protegerse de las consecuencias de estos eventos hay una serie de factores a tomar en cuenta para la decisión de instalar un sistema. Estos factores están basados en el código NFPA (National Fire Protection Association) y son:

- 1) Frecuencia de las tormentas en la zona.
- 2) Características del edificio y su contenido.
- 3) Riesgo ocupacional.
- 4) Exposición relativa.
- 5) Pérdidas indirectas.

Las estadísticas llevadas a cabo por U.L. y NFPA indican que en los últimos años, los edificios convenientemente protegidos no han recibido daño alguno, solamente un deterioro en la misma instalación del pararrayos, lo que nos lleva a confiar en los estudios realizados por la NFPA.

Una manera muy fácil y que nos ayuda en la decisión de instalar un sistema es mediante el índice de riesgo R. El índice de riesgo es una guía, no cubre los casos especiales de diseño ni las construcciones muy sofisticadas, es una ayuda.

Para determinar el índice de riesgo, se suman los valores correspondientes a una construcción dados en las siguientes tablas y se divide entre el valor correspondiente de frecuencia de tormentas eléctricas, esto es:

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F}$$

donde: R - índice de riesgo
A - tipo de estructura
B - tipo de construcción
C - exposición relativa
D - topografía
E - contenido
F - nivel isoceraúnico

El índice de riesgo, una vez calculado, adquiere un valor que nos indica el riesgo según la siguiente tabla:

R	Riesgo
0 - 2	ligero
2 - 3	ligero a moderado
3 - 4	moderado
4 - 7	moderado a severo
7 - más	severo

Los valores para cada una de las literales se obtienen de las tablas dispuestas en la siguiente forma:

Factor	Tabla
Frecuencia de tormentas	F - nivel isocerámico
Características del edificio	A - tipo de estructura
	B - tipo de construcción
Riesgo ocupacional	E - contenido
Exposición relativa	C - exposición relativa
	D - topografía
Pérdidas indirectas	- - - - -

4.1 FRECUENCIA DE TORMENTAS.

Al hablar de descargas atmosféricas no se pueden dar datos ni hacer predicciones con precisión, se estima, como resultado de estudios estadísticos, que la Tierra es afectada por 40,000 tormentas eléctricas diariamente, bombardeandola cada día con 9,000,000 de rayos sobre toda la superficie de la Tierra.

La distribución de las tormentas varía grandemente con la geografía y el clima, la más alta frecuencia de tormentas es en las regiones ecuatoriales.

Por ejemplo, la isla de Java, tiene tormentas eléctricas 223 días del año, más de 4 días de cada semana.

En algunos países hay estadísticas que permiten conocer el número de tormentas eléctricas que son de esperarse en una zona determinada.

En México se tienen más de 100 estaciones detectoras de descargas atmosféricas distribuidas en todo el territorio, se han obtenido resultados a partir de 1983 y año con año se van conformando las curvas de nivel isocerámico. La figura 54 muestra un mapa de la República Mexicana con los resultados de 6 años de estudios, el mapa muestra líneas de igual densidad de rayos a tierra en rayos/km²/año (promedio anual del periodo 83-88).

MAPA DE ISODENSIDADES DE RAYOS A TIERRA PROMEDIO. (83-88)



$0 < X < 1$
 $1 < X < 3$
 $3 < X < 6$
 $6 < X < 10$
 $10 < X < 16$

DONDE X ES LA DENSIDAD DE RAYOS A TIERRA EN rayos/km²/año

FIGURA 54

Para el cálculo del índice de riesgo, primero se localiza el lugar geográfico en una forma aproximada y se estima el número de rayos por km² por año, con este número se busca el valor que le corresponde en la tabla F.

Tabla F. NIVEL ISOCERAUNICO.

Rayos/km ² /año	valor.
0 - 1	9
2 - 3	8
4 - 5	7
6 - 7	6
8 - 9	5
10 - 11	4
12 - 13	3
14 - 15	2
16 - más	1

4.2 CARACTERISTICAS DEL EDIFICIO Y SU CONTENIDO.

Un factor importante a tomar en cuenta, es la construcción misma, que la podemos ver desde dos puntos de vista, según el tipo de estructura y según el tipo de construcción. La construcción tiene una finalidad, una utilidad, puede ser una casa-habitación, una casa-comercial o un edificio industrial, que también puede ser de diferentes dimensiones. Una construcción, por ejemplo: una casa-habitación, puede estar hecha de diferentes materiales, de madera, de concreto, de metal o de algún otro, y sus características cambian, siendo más necesaria la protección en una construcción hecha de madera que de estructura metálica.

La tabla A, tipo de estructura, muestra una clasificación general de la utilidad de la estructura con su correspondiente valor para el cálculo del índice de riesgo.

Tabla A - TIPO DE ESTRUCTURA.

Estructura	valor
Residencia familiar sencilla con menos de 465 m ² de área	1
Residencia familiar sencilla con más de 465 m ² de área	2
Residencia, edificio de oficinas o fábrica con menos de 15 m de altura:	
- con menos de 2323 m ² de área	3
- con más de 2323 m ² de área	5
Residencia, edificio de oficinas o fábrica de:	
- 15 a 23 m de alto	4
- 23 a 46 m de alto	5
- 46 a más m de alto	8
Edificios de servicios públicos: policía, bomberos, etc.	7
Hangares	7
Estaciones generadoras de energía, centrales telefónicas.	8
Tanques elevados, torres de enfriamiento.	8
Bibliotecas, museos, edificios históricos.	9
Granjas	9
Albergues recreativos, de golf.	9
Lugares de asamblea pública como escuelas, iglesias, teatros, estadios, etc.	9
Estructuras delgadas como chimeneas, campanarios, agujas, torres de control, faros, etc.	10
Hospitales, clínicas para convalecientes, asilos para ancianos o para impedidos	10
Casas de manufactura de materiales peligrosos.	10

La tabla B muestra el tipo de construcción, especificado para 4 materiales en el armazón y 4 tipos diferentes de techos, con sus combinaciones posibles y sus valores.

Tabla B.- Tipo de estructura.

Armazón estructural	tipo de techo	valor
No metálico (diferente a madera)	madera	5
	compuesto	4
	metálico - discontinuo	3
	metálico - eléctricamente continuo	2
Madera	madera	5
	compuesto	4
	metálico - discontinuo	3
	metálico - continuo	2
Concreto reforzado	madera	5
	compuesto	3
	metálico - discontinuo	4
	metálico - continuo	1
Acera estructural	madera	4
	compuesto	3
	metálico - discontinuo	3
	metálico - continuo	1

En cuanto a su contenido, el riesgo de un siniestro aumenta si son explosivos o materiales fácilmente inflamables, por lo que será más necesaria la instalación de un sistema de protección.

Igualmente si el contenido tiene un valor considerable, como equipo sofisticado o por lo que represente como acervos históricos o culturales, en estos casos, son materialmente sustituidos, pero no su contenido, como libros, cintas de audio, de video, obras pictóricas, de arte, etc.

La tabla correspondiente al contenido está entremezclada con la del riesgo ocupacional, para fines del cálculo del índice de riesgo.

4.3 RIESGO OCUPACIONAL.

Si partimos de que cualquier construcción estará ocupada por un mínimo de personas, la protección siempre será necesaria, para el cálculo del índice de riesgo, a los edificios que están ocupados por un número mayor de personas se les da un valor más alto.

El contenido y el riesgo ocupacional son dos factores de gran importancia, en última instancia lo que se quiere proteger es precisamente lo que está dentro del edificio más que la estructura misma.

La tabla E muestra de manera general el contenido del edificio, en su mayoría se refieren a materiales y equipos, con sus valores.

Tabla E.- Contenido.

Contenido	valor
Materiales no combustibles, inhabitada	1
Mobiliario residencial	2
Mobiliario o equipo ordinario	2
Genajo vacuno y animales de cría	3
Pequeña asamblea de personas, menos de 50	4
Materiales combustibles	5
Gran asamblea de personas	6
Materiales y equipo de gran valor	7
Servicios públicos, policía, bomberos, etc.	8
Líquidos o gases flámables, gasolina, hidrógeno, etc.	8
Personas inmóviles o en cama	8
Equipo sofisticado	9
Contenido histórico	10
Explosivos o componentes explosivos	10

4.4 EXPOSICION RELATIVA.

Recordemos que las cargas electrostáticas se concentran en los cuerpos de proporciones geométricas agudas, puntas, esquinas, etc. y los rayos tienden a incidir en las alturas más notables y en los edificios más altos.

En la actualidad, es cada vez más frecuente la construcción vertical, así, en una zona con poca frecuencia de tormentas eléctricas al año, puede aumentar la incidencia en presencia de edificios muy altos, hay una variación de la probabilidad de incidencia con relación a la altura, a mayor altura mayor probabilidad, pero no se tienen datos estadísticos precisos.

La incidencia de una carga eléctrica en un edificio obedece a la exposición y al lugar donde se encuentre, si es un edificio de tamaño mediano, por ejemplo de 15 m de altura y es el más alto de la zona, requerirá protección, pero si está junto a un edificio de 25 m de altura, el más alto necesitará la protección y el de 15 m tal vez no la precise, esto es una exposición relativa.

Si el edificio está en un valle, en una parte baja de la topografía local, el riesgo de una descarga es menor que si se localizara en una colina o en lo alto de una montaña.

Las tablas siguientes nos dan una idea más clara de estos conceptos, también nos indican los valores correspondientes para el cálculo del índice de riesgo.

Tabla C.- Exposición relativa.

Estructura	valor
En áreas de estructuras más altas:	
pequeñas estructuras con un área menor a 929 m ²	1
grandes estructuras con un área mayor a 929 m ²	2
En áreas de estructuras más bajas:	
pequeñas estructuras con un área menor a 929 m ²	4
grandes estructuras con un área mayor a 929 m ²	5
De hasta 12,5 m de altura sobre estructuras adjuntas o terrenos	7
De más de 12,5 m de altura sobre estructuras adjuntas o terrenos	10

Tabla D.- Topografía.

Localización	valor
En un valle	1
En la base de una colina	2
En la cima de una colina	4
En lo alto de una montaña	5

4.5 PERDIDAS INDIRECTAS.

Cuando un rayo incide en un edificio sin protección, puede causar daños materiales en la misma construcción, quizá incendios, o algún otro tipo de siniestro de diferentes magnitudes, estos son la pérdidas directas, el daño causado puede ser repuesto a excepción de vidas humanas y animales.

El rayo también puede incidir en una subestación eléctrica, en un transformador, en la caja de distribución o en un equipo de comunicaciones, estos equipos pueden ser cambiados pero por su deterioro o inutilización, pueden dejar sin energía eléctrica a un edificio o a una determinada zona o dejarlo sin comunicación. Si se trata de un hospital, puede causar graves daños o hasta la muerte de algún paciente. Si se trata de una fábrica o de una industria con un proceso continuo de producción, las pérdidas por la no operación en horas, días o semanas puede aumentar a millones de pesos, alterando severamente la economía de la fábrica.

Las pérdidas indirectas pueden ser mucho mayores a las pérdidas directas, por lo que son de gran importancia en la decisión del emplazamiento de un sistema de protección.

Para el cálculo del índice de riesgo no hay una tabla para este factor, pero se encuentra incluido en las anteriores, básicamente en la del contenido y en la del tipo de construcción.

Capítulo V

Análisis práctico del diseño específico de sistemas.

V.1 Diseño y explicación del proyecto.

Para este proyecto se nos propuso el diseño de un sistema pararrayos para un edificio que tienen proyectado construir dentro del campus de Ciudad Universitaria como unidad de investigación y que se denominó Centro de Divulgación de las Ciencias. El estudio del factor de riesgo de este edificio dio por resultado lo siguiente:

Nivel isocerámico	F= 4
Tipo de estructura	A= 5
Tipo de construcción	B= 3
Contenido	E= 6
Exposición relativa	C= 10
Topografía	D= 2

	26
Factor de riesgo	$R = \frac{26}{4} = 6.5$

El valor obtenido para el factor de riesgo es elevado, lo que nos indica un riesgo de moderado a severo. Esto quiere decir que el edificio en cuestión definitivamente requiere de un sistema de pararrayos.

Después de un análisis del edificio se obtuvieron sus principales características desde el punto de vista cerámico:

Edificio clase I

Altura del pretil: 13.25 m

Altura máxima: 18.85 m (por la estructura del invernadero)

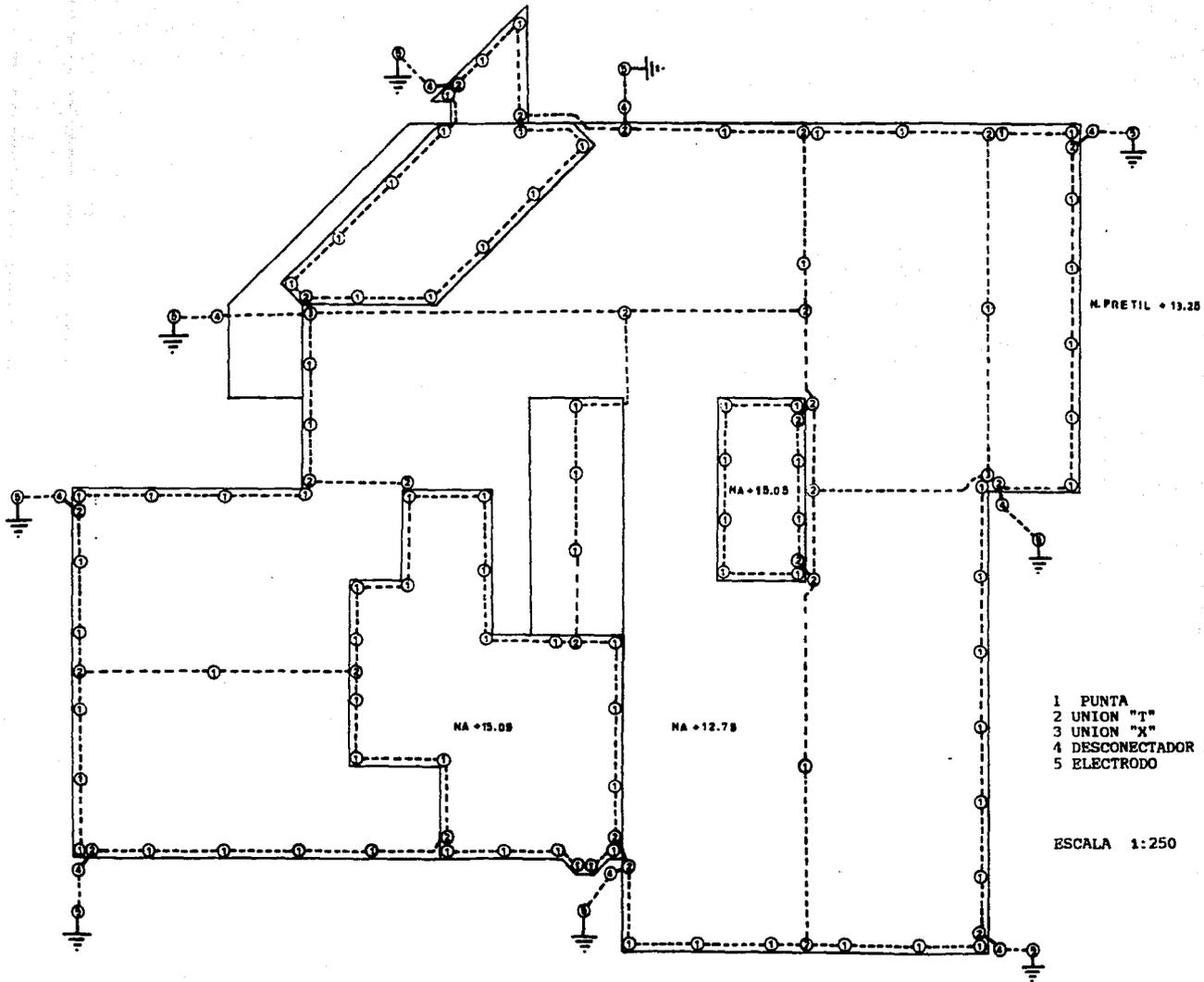
Perímetro total: 240 m

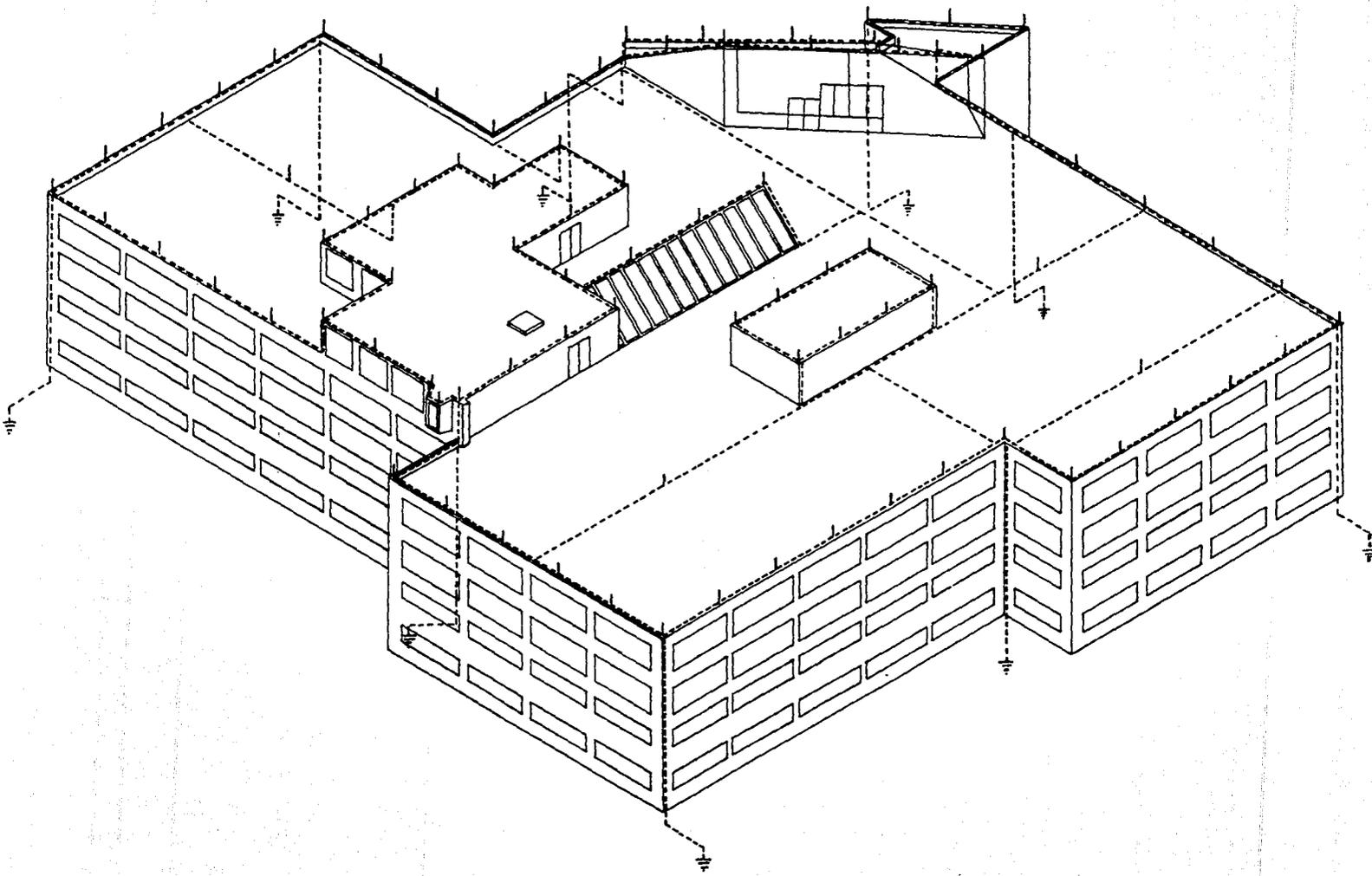
Consideraciones:

Estructuras del invernadero y domo de herrería.

Suelo rocoso y poco profundo.

En función de las características y consideraciones anteriores, al edificio se le deben colocar puntas de 30 cm cada 5 m y necesita ocho bajadas, sin embargo, para no alterar la estética del mismo, se le proyectaron nueve bajadas en lugares no visibles.





Conclusiones

Como hemos podido constatar a lo largo del desarrollo de este trabajo, es necesaria la reglamentación de sistemas pararrayos desde la etapa de proyecto en todo tipo de construcciones en nuestro país, pues aunque es un proceso relativamente sencillo, no por ello deja de ser absolutamente indispensable.

A lo largo de nuestra investigación preliminar pudimos comprobar que en México existen varios centros de investigaciones que dedican gran parte de sus esfuerzos a estudiar las causas y efectos de las descargas atmosféricas, como son el Instituto de Investigaciones Eléctricas y Electrónicas y un laboratorio de investigaciones y pruebas de Comisión Federal de Electricidad en Irapuato, Guanajuato.

Esperamos que continúen las investigaciones y que logren esclarecer completamente este fenómeno físico en corto plazo para así poder tener la certeza de que los sistemas colocados en edificios son completamente efectivos, pues según pudimos entender, hasta ahora solamente existen teorías no comprobadas al respecto.

BIBLIOGRAFIA

- Atmospheric Electricity
J. Alan Chalmers
Pergamon Press. 1957.
- A Study of Lightning
Part I The Physics of Lightning
Rodney B. Bent
Part II Lightning Protection for Buildings, Towers &
Personnel.
Rodney B. Bent
Florida Institute of Technology. Melbourne, Florida. 1977.
- El Asombroso Mundo de la Naturaleza
Selecciones del Readers Digest. 1969
Madrid, España.
- Eight Years of Lightning Experiments at Saint-Privat-d'Allier
Saint-Privat-d'Allier Research Group
RGE-9/82 septiembre 1982.
- Instalaciones Electricas Industriales.
Estudio realizado por:
Illinois Institute of Technology.
Septiembre 1984.
- Instalaciones Eléctricas para Edificios.
Sistemas de Protección Vs. Descargas Atmosféricas.
Ing. Ignacio Gonzalez Castillo
Centro de Educación Continua.
División de Estudios de Posgrado.
Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Investigación sobre Descargas Atmosféricas.
Boletín IIE. Septiembre/Octubre 1989
F. de la Rosa.
- Lightning Arrester Seminar
K. E. Russell, E. J. Allen, Arthur R. Koerber,
Del D. Wilson, & E.C. Sakhaug.
General Electric Company. 1970.
- Lightning Protection Code.
National Fire Protection Association. (NFPA)
NFPA 78. 1988 edition.
Atlanta, Georgia.

Lightning Protection of Structures.
L'Energia Elettrica.
Italia. M.11-1985.

Lightning Protection of Tall Buildings and Structures.
Raul Velazquez, Dinkar Mukhedkar.
Ecole Polytechnique du Montreal. 1981.

Probabilistic Calculations of Lightning Protection for Tall
Buildings
Raul Velazquez, Victor Gerez, Dinkar Mukhedkar,
Ivonne Gervais.
IEEE Transactions on Industry Applications.
Vol. 1A-1B, No. 3 May/June 1982.

Progress on the Lightning Detection Program in Mexico:
Registration, location and Characterization on Lightning Strokes.
H. G. Sarmiento, F. de la Rosa, F. Brito,
H. Pérez, C. Romualdo, R. Valdivia.
Instituto de Investigaciones Eléctricas,
Cuernavaca, Morelos. 1988.

The Feynman Lectures on Physics.
R. Feynman.
Fondo Educativo Interamericano. 1972

Thompson's Technical Manual.
Thompson Lightning Protection INC.
Minnesota, E.E.U.U.

Thunderstorms
Choji Hagono
Elsevier Scientific Publishing Company.1980