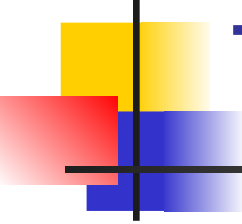


CURSO

Protecciones Eléctricas.

PARTE II. Pararrayos



Temáticas

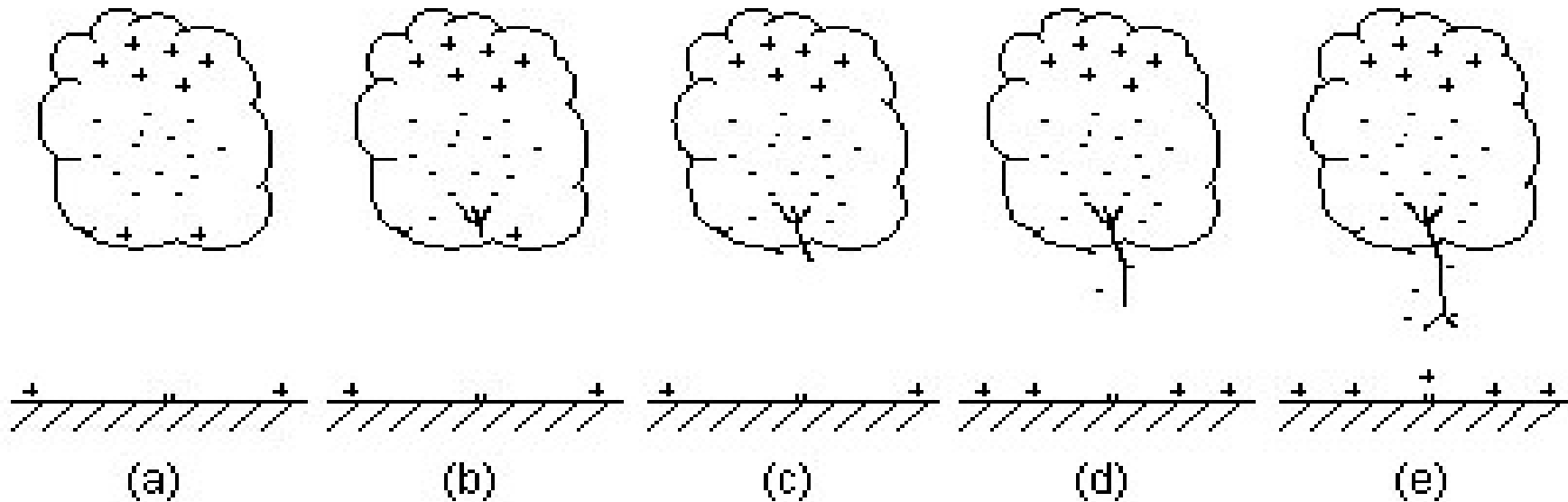
- Introducción.
- Efectos del rayo
- Parámetros del rayo
- Normas
- Clasificación de los pararrayos
- Cálculo del pararrayo.

Mitos y leyendas.



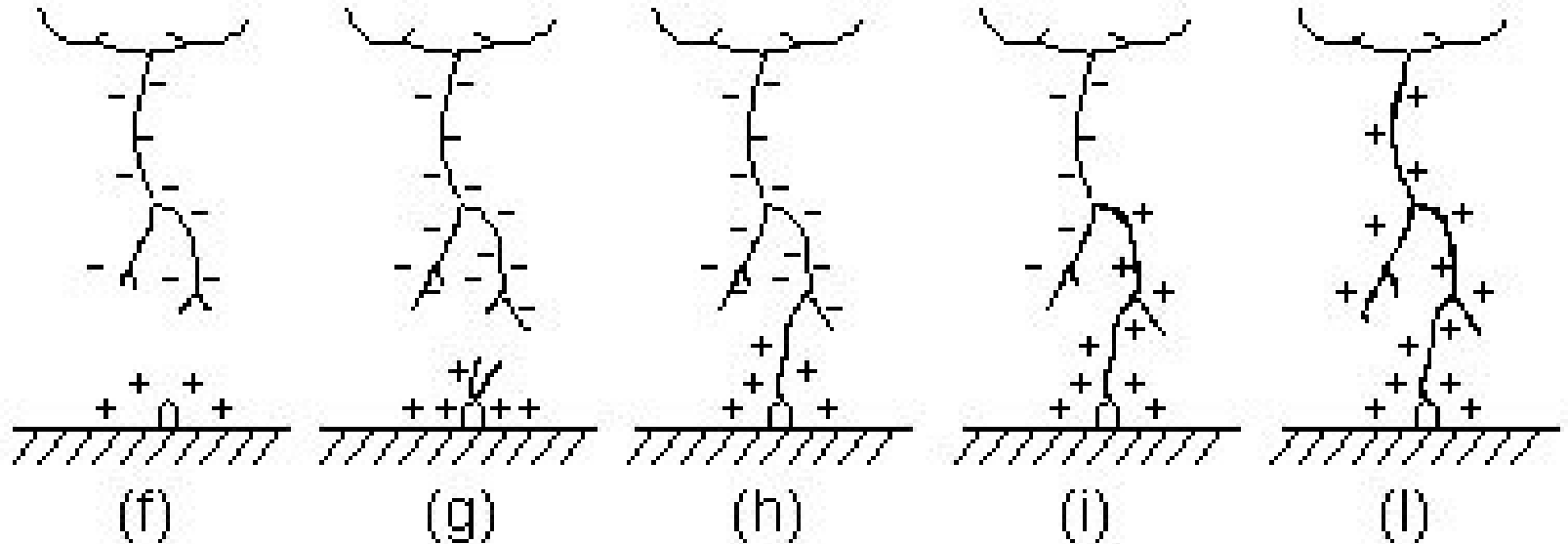


Formación del rayo



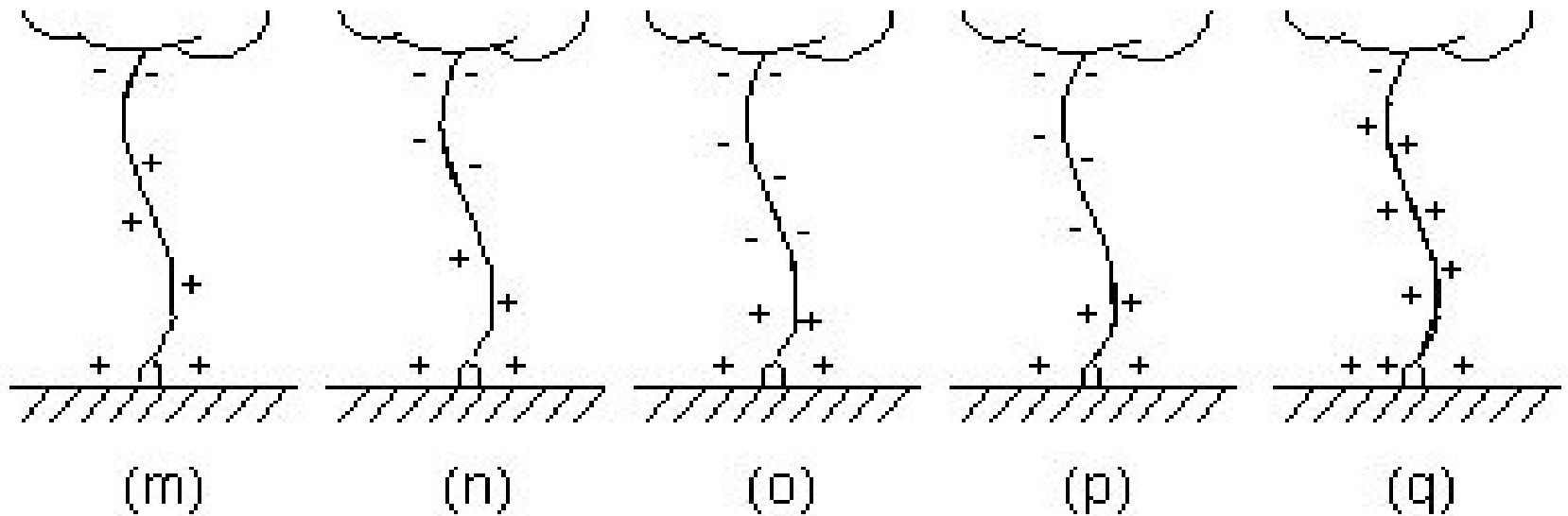
Con la carencia de nubes tormentosas el valor del campo eléctrico en la tierra es de $0,1 \text{ kV/m}$, pero en caso de existencia de tormentas este potencial puede aumentar de 10 a 20 kV/m y en los puntos de más alta concentración en el interior de la nube este potencial va aumentando en un valor de aproximadamente 10 kV/cm , valor este suficiente para iniciar la descarga inicial o guía, la cual normalmente avanza a una velocidad de $1/6$ de la velocidad de la luz por espacio de unos $50 - 60 \text{ m}$ aproximadamente, haciendo un alto y emitiendo en su cabeza un haz de luz de gran brillantez y así sucesivamente.

Formación del rayo



Cuando la guía original se acerca lo suficiente al otro centro de carga (comúnmente sobre la superficie de la tierra), del mismo comienza a desarrollarse otra guía de carga contraria que avanza en busca del guía original. Al establecerse el contacto se ha formado ya un paso altamente ionizado entre los dos centros de cargas a través del cual fluye una corriente, que se desplaza a una velocidad de $1/10$ de la velocidad de la luz y a la cual se le denomina guía, por la cual se mantiene circulando una corriente del orden de los 100 - 1 000 A por espacio de unos 20 000 μs lo cual mantiene un paso con un alto grado de ionización.

Formación del rayo



Por el camino altamente ionizado se da lugar a la descarga principal con una duración que es del orden de los 100 μ s, proceso durante el cual es neutralizada la carga del paso ionizado y la carga restante en la nube. La corriente en la descarga principal es del orden de los 1000 y los 200 000 A teniendo un tiempo la descarga total en el orden de 0,03 s.



Efectos del Rayo

Térmicos (Desprendimiento de calor: la temperatura máxima puede alcanzar más de 30000°C . Se le asocian daños forestales, por fuego y de elementos eléctricos y electrónicos por sobrecalentamiento).

Electrodinámicos (Onda de presión: desplazamiento de conductores debido al esfuerzo a que es sometido con la circulación de la corriente del rayo o en conductores paralelos próximos).

Electromagnéticos (Radiación, inducción y acoplamiento de circuitos: provocados por la alta frecuencia del rayo. Se le asocian daños debido a sobretensiones inducidas en circuitos eléctricos, electrónicos y de comunicaciones).

Electroquímicos (Corrosión y reacción galvánica: reacción química que provoca desgaste del metal en la zona de transición con la tierra o si existe, la cubierta galvánica anticorrosiva. Se le asocian daños en los sistemas de puesta a tierra).

Acústicos (Onda de sonora: el gran gradiente térmico entre éste y el aire que lo circunda, produce una onda de choque que normalmente se escucha en una tormenta y que se conoce como trueno).

Fisiológicos (Afección de los centros nerviosos, electrocución, quemaduras, muerte: En las proximidades de las tomas de tierra de los sistemas eléctricos afectados por el rayo pueden aparecer potenciales de varios centenares de kV que constituyen un peligro para la vida por los altos valores de las tensiones de paso y de contacto).

TIPOS DE IMPACTOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

```
graph TD; A[TIPOS DE IMPACTOS DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS] --> B[Impactos Directos]; A --> C[Impactos cercanos];
```

Impactos Directos

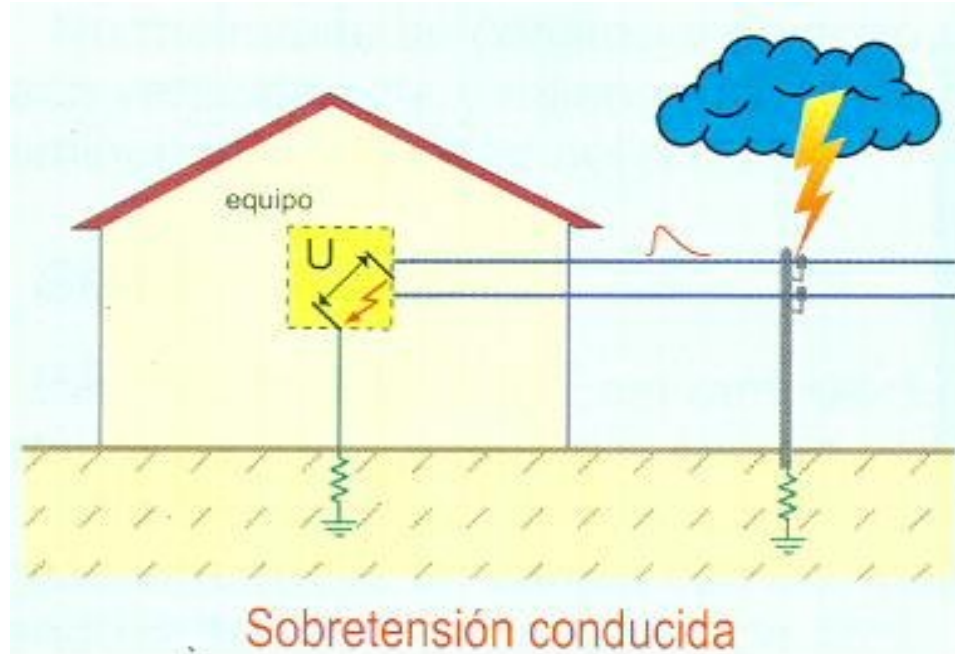
Impactos cercanos

Efectos de una descarga eléctrica



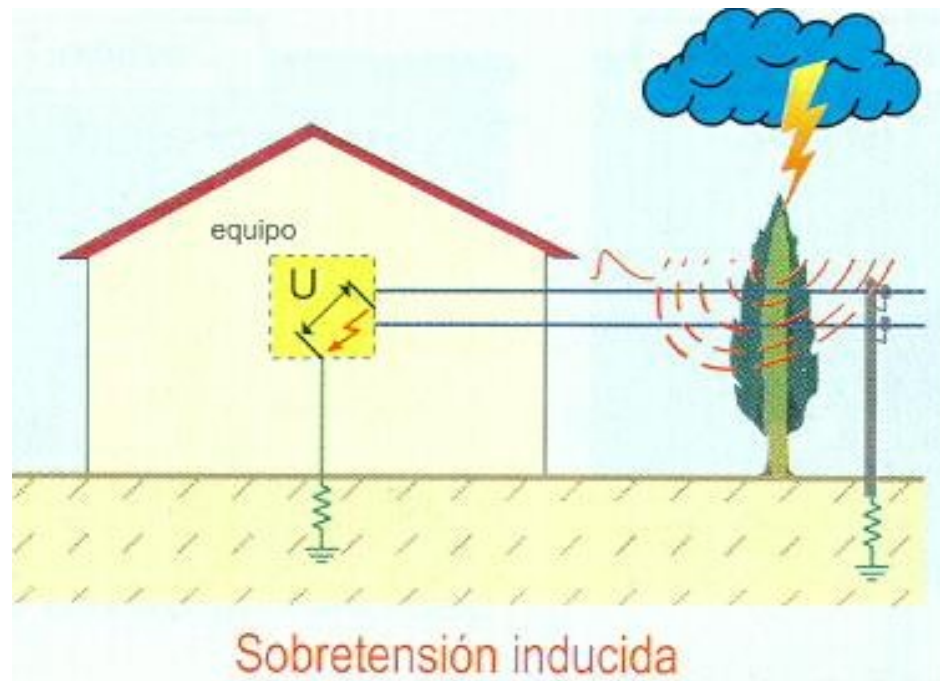
Cuando un rayo cae directamente al suelo o a través de una estructura conectada a tierra (puede ser un poste eléctrico, un pararrayos o una construcción, etc) la corriente de la descarga del rayo puede elevar el potencial de la tierra varios miles de Voltios como consecuencia de la corriente que circula por el terreno.

Efectos de una descarga eléctrica



Cuando un rayo cae directamente en las líneas aéreas, propagándose la sobretensión a lo largo de varios kilómetros. La sobretensión acaba llegando al usuario y derivándose a tierra a través de sus equipos produciéndoles averías o su total destrucción.

Efectos de una descarga eléctrica



La radiación emitida por el rayo sobre un objeto (ya sea un poste, árbol o pararrayos, etc) próximo a las líneas eléctricas o telefónicas, induce corrientes transitorias en éstas, transmitiéndolas al interior de nuestras instalaciones provocando averías o destrucción de los equipos.

Ejemplo de un impacto directo.



– Sector de la PNR de Nádales.

Ejemplo de un impacto directo.



Ejemplo de un impacto directo.



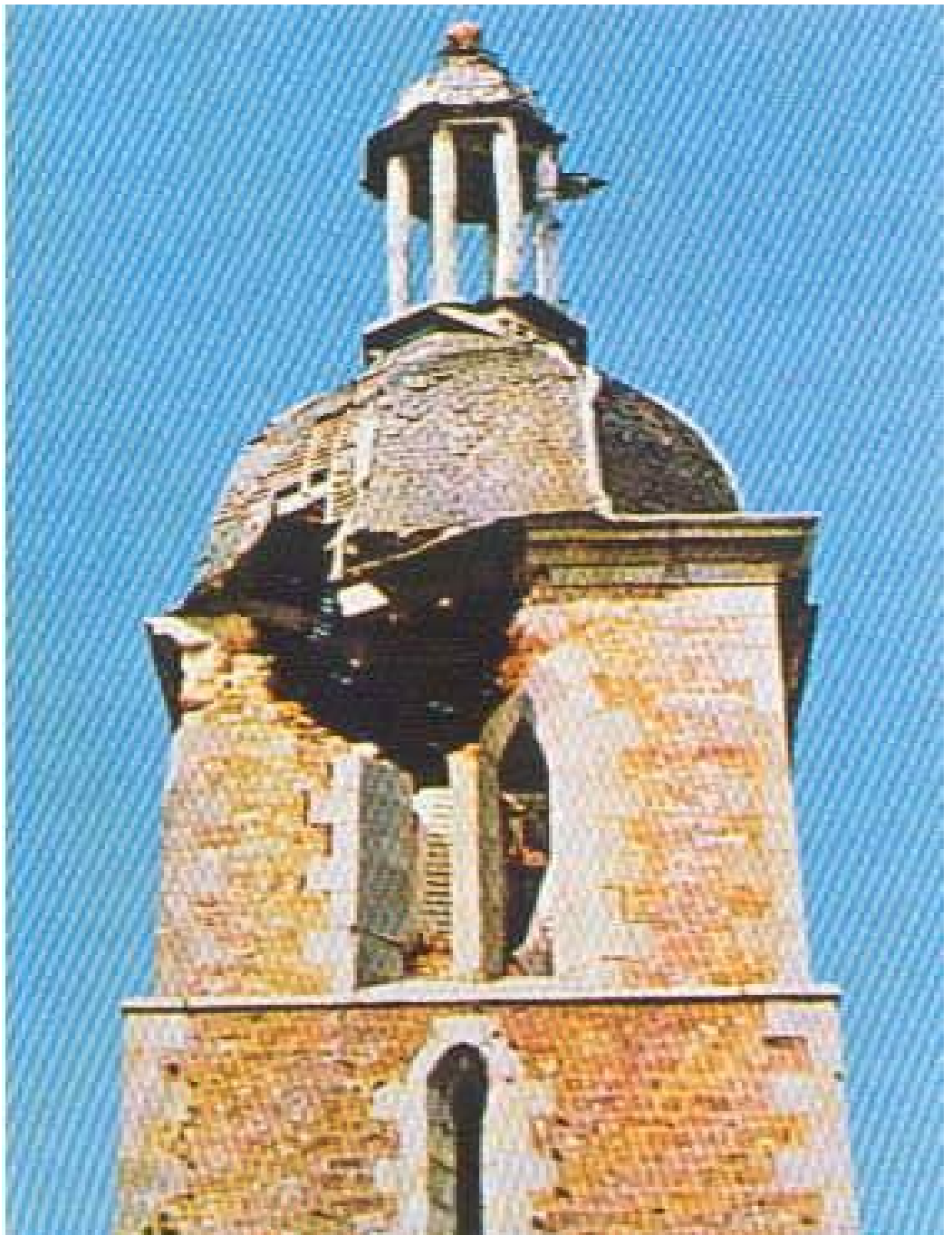
Ejemplo de un impacto directo.



Ejemplo de un impacto directo.



Torre de un
catedral dañada
por impacto
directo de rayo



Aerogenerador dañado por impacto directo de rayo en una de sus palas



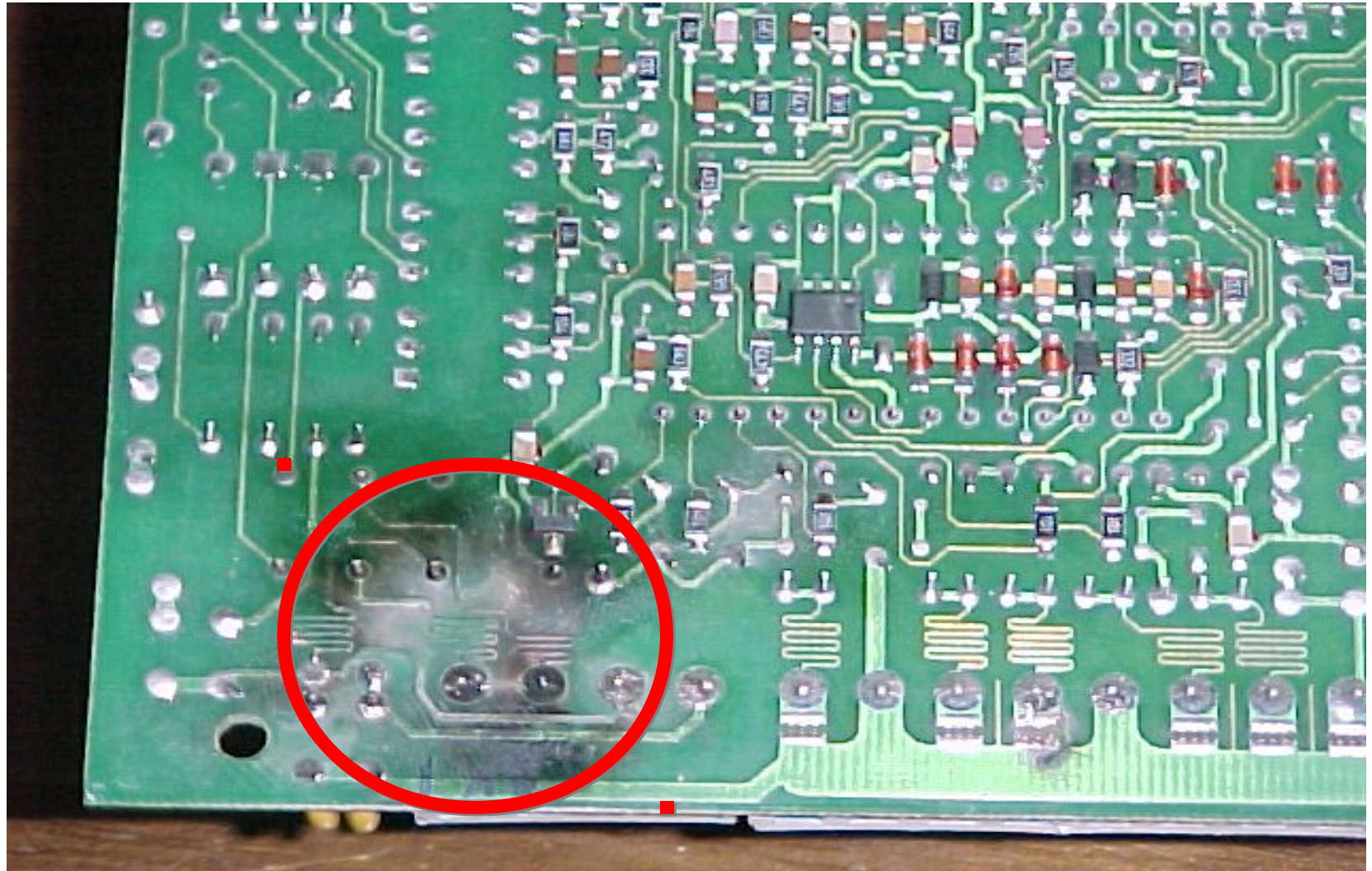
Edificio destruido por impacto directo de rayo



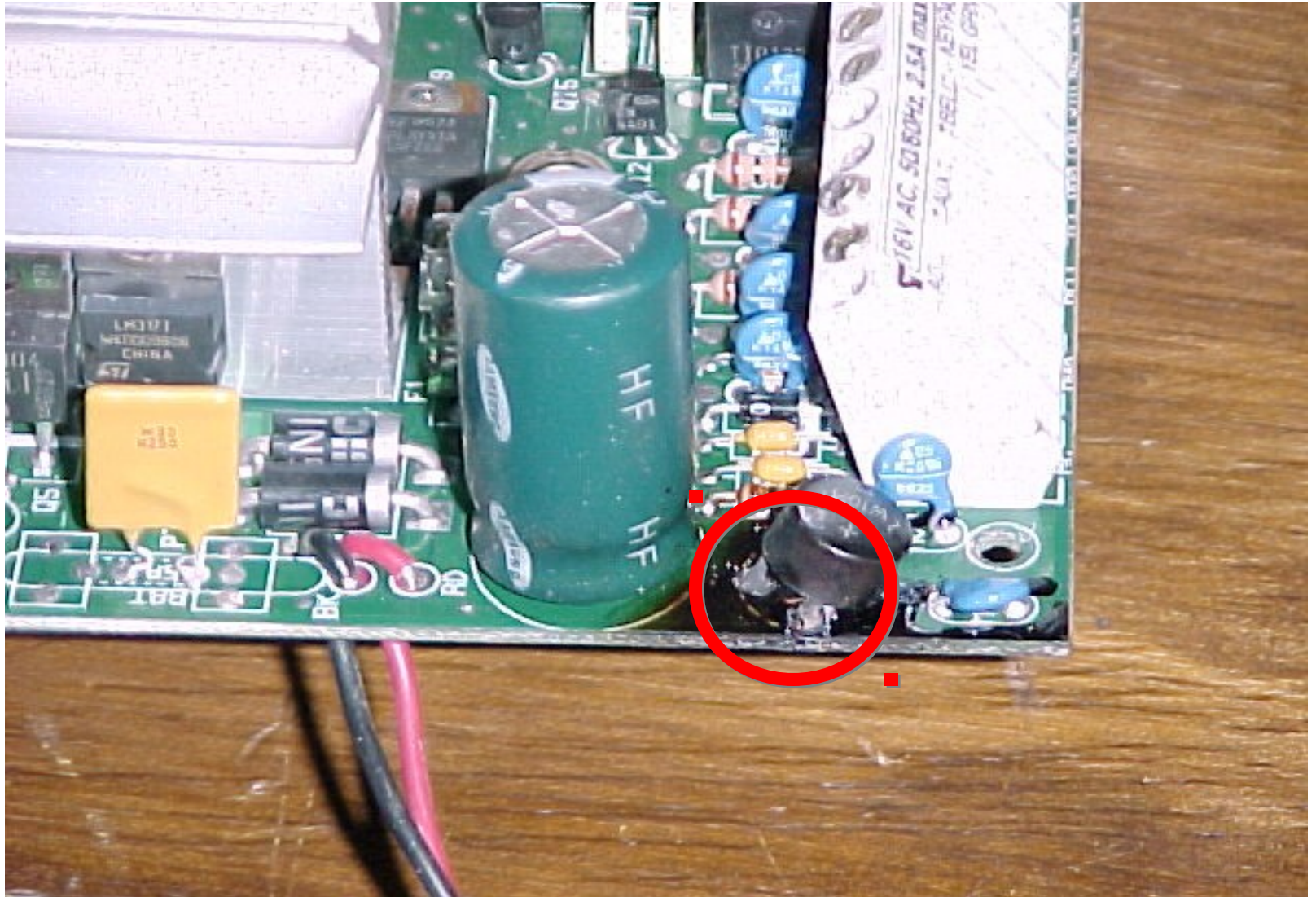
Daños físicos en el cableado interno de un local debido a la corriente de rayo



Ejemplo de un daños por sobretensiones inducidas.



Ejemplo de un daños por sobretensiones inducidas.





Parámetros del rayo

Parámetros del rayo importantes para aplicaciones de ingeniería

■ Parámetros de incidencia:

- Nivel ceráuneo, NC.
- Multiplicidad.
- Densidad de descargas a tierra DDT.
- Polaridad del rayo.
- Duración de la descarga eléctrica atmosférica.
- Duración del intervalo entre descargas individuales.

■ Parámetro de amplitud de la corriente de retorno del rayo, CR.

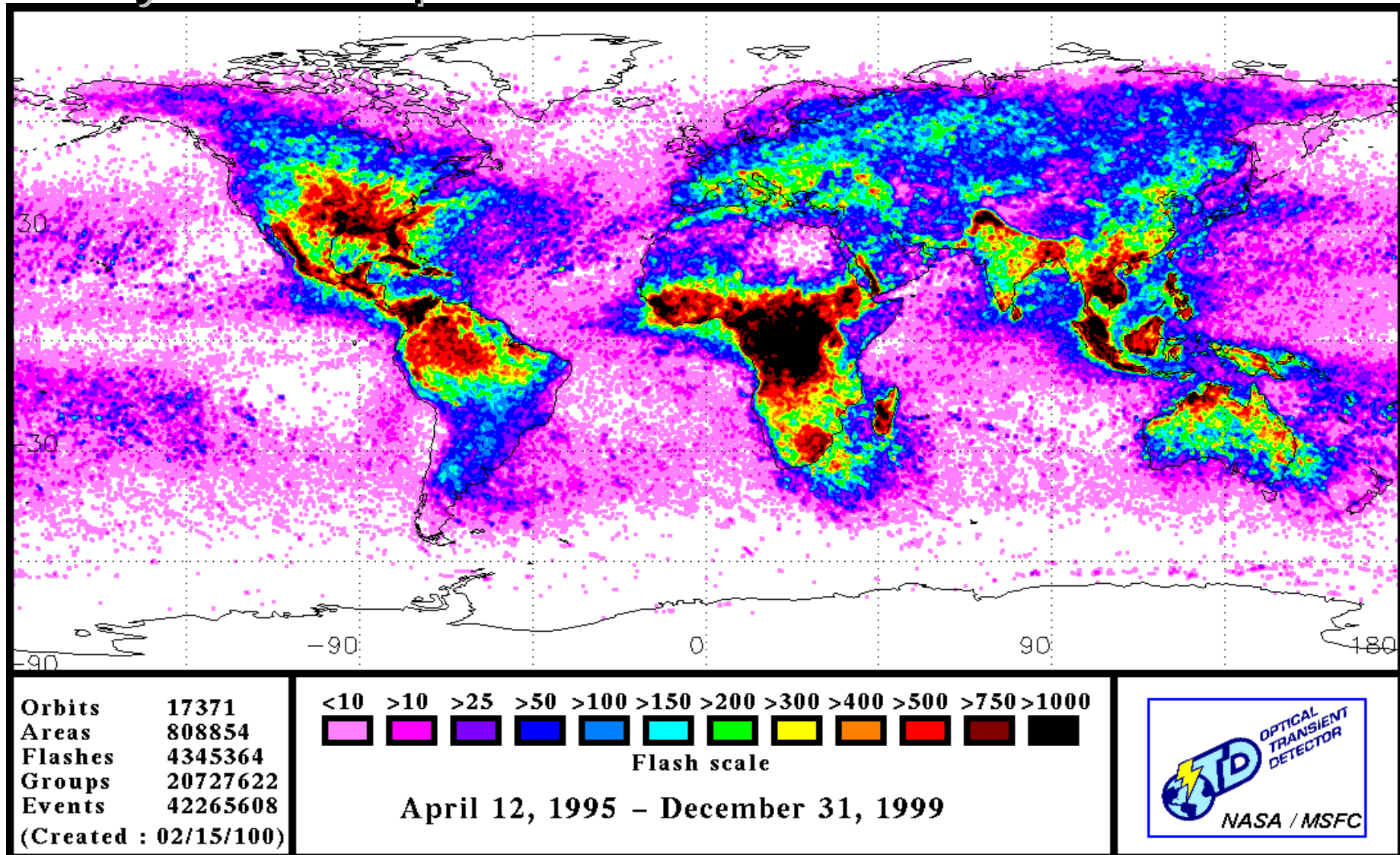
■ Parámetro de la forma de impulso de la corriente de rayo.

NIVEL CERÁUNICO (Td o NC)

Es el primer indicador establecido y ampliamente utilizado todavía, que expresa la cantidad de días tormenta al año (Td o Nc) de una región y acostumbra a darse para un país según el Mapa de Niveles Isoceráunicos (curvas de nivel de igual cantidad de días tormentas al año).

Para obtener el número de días tormentas al año se utilizan las observaciones que se realizan desde las estaciones meteorológicas donde se toma como día de tormenta, aquel en que el observador note aunque solo sea una llamarada de rayo o trueno. De esta manera no se discrimina entre los rayos nube a nube, entre nubes y los rayos nube a tierra.

Mapa de Distribución de la Actividad de Rayos en el planeta



Variación espacial del Nc en diferentes latitudes del mundo

- ⇒ **Colombia.** Varía entre 10 y 120.
- ⇒ **Francia.** Menos de 15 y más de 30.
- ⇒ **Estados Unidos.** Varía entre 5 y 100.
- ⇒ **Brasil.** Minas Gerais varía entre 30 y 140.
- ⇒ **Alemania.** Valor promedio 20, en áreas cercanas a las montañas de los Alpes máximo de 30.
- ⇒ **Gran Bretaña.** El valor medio varía entre 2 y 14.
- ⇒ **Canadá.** Promedios entre 15 y 35 con valores máximos promedio de 35 en los grandes lagos.

Densidad de descargas a tierra (Ng o DDT)

Este parámetro ha sido determinado tradicionalmente por dos métodos:

- Mediante ecuaciones empíricas que relacionan la densidad de descargas a tierra con el nivel cerámico.
- Mediante mediciones directas con equipos contadores de rayos o localizadores.

Ecuaciones empíricas que relacionan la densidad de descargas a tierra con el nivel ceráuneo

Ejemplo de ecuaciones de DDT en función del Nc, utilizadas en diversas partes del mundo, aplicadas a tres años de mediciones (1995, 1994, 1993) y comparadas con mediciones hechas con el contador RSA-10, en la ciudad de Bogotá.

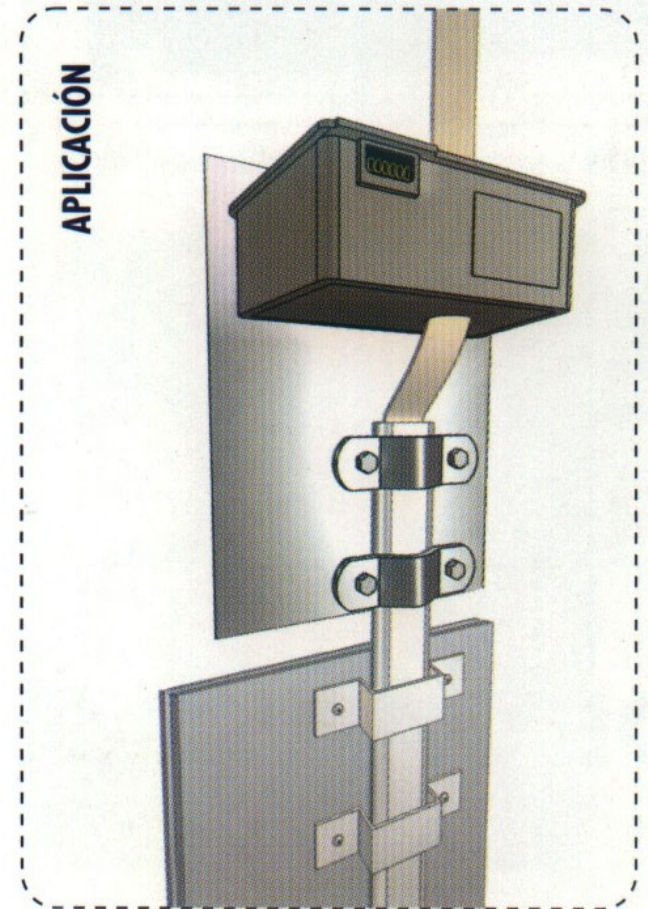
Ecuación propuesta	Autor	DDT, NC=57 (Descargas/km ² -año-1995)	DDT, NC=68 (Descargas/km ² -año-1995)	DDT, NC=88 (Descargas/km ² -año-1993)
DDT medido en Bogotá	-	0.6	1.2	2.4
$0.053 \cdot (NC)^{1.17}$	Eriksson/Potgieter, Southafrica	6	7.4	10
$0.04 \cdot (NC)^{1.25}$	Anderson/Eriksson, Cige	6.3	7.8	10.8
$0.0026 \cdot (NC)^{1.9}$	Stringfellow, U.K.	5.6	7.9	12.9
$0.004 \cdot (NC)^2$	Muller/Hillebrand, Sweden	13	18.531	
$0.15 \cdot (NC)$	Brown/Whitehead/Golde, USA	8.6	10.213	
$0.023 \cdot (NC)^{1.3}$	Cige	4.4	5.5	7.7
$0.036 \cdot (NC)^{1.3}$	Kolokolov/Paulova/Russia	6.9	8.7	12.1
$0.1 \cdot (NC)$	Aiya, India	5.7	6.8	8.8
$0.14 \cdot (NC)$	Anderson/Jenner	8	9.5	12.3
$0.11 \cdot (NC)$	Horn/Ramsey, USA	6.3	7.5	9.7
$0.17 \cdot (NC)$	Horn/Ramsey, USA	9.7	11.615	
$0.19 \cdot (NC)$	Broks/Temperature	10.8	12.916	
$0.13 \cdot (NC)$	Broks/Tropical	7.4	8.8	11.4
$0.01 \cdot (NC)$	New Guinea	0.6	0.7	0.9
$0.024 \cdot (NC)^{1.12}$	De la Rosa, Montaña México	2.2	2.7	3.6
$0.03 \cdot (NC)^{1.12}$	Dinitz/M.G (Brasil)	2.8	3.4	4.5
$5.4 \cdot 10^{-7} \cdot LAT^{1.6} \cdot NC^{2.5}$	H. Torres, PAAS Colombia	0.15	0.23	0.43

Mediciones directas con equipos contadores de rayos

CONTADOR DE RAYOS



Los contadores de rayos reciben en una antena el campo eléctrico de la descarga y la señal correspondiente pasa a un circuito contador. Si su nivel rebasa el umbral prefijado, el contador se dispara e incrementa en “1” su valor.



Mediciones directas con equipos contadores de rayos.

LIMITACIONES

- Después de operar no son capaces de volver a hacerlo hasta un segundo después, lo que imposibilita registrar las descargas consecutivas.
- Tienen un alcance corto, su radio de cubrimiento es de 20 a 30 km por lo que para áreas mayores implica la utilización de muchos contadores. (Esto encarece el sistema y dificulta la recuperación de la información, por lo que en la actualidad se utilizan fundamentalmente en regiones no amplias).
- Deben ser colocados en áreas totalmente abiertas porque las obstrucciones en su vecindad obliga a aumentar la altura de la antena y, por tanto, a ajustes de sensibilidad.
- No discriminan la polaridad de la descarga ni los rayos ramificados.

Mediciones directas con Sistemas de Detección y Localización de Rayos.

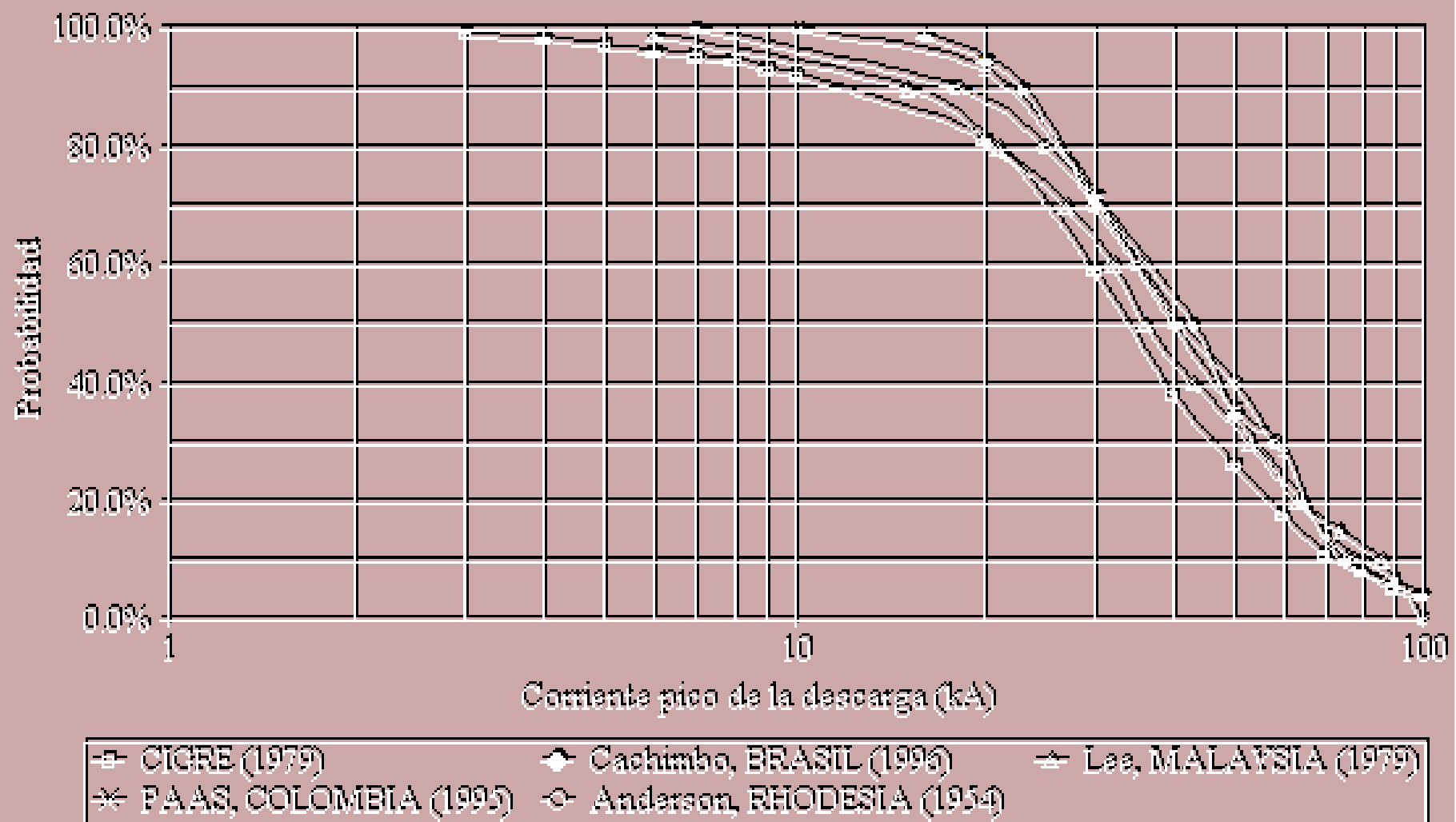
La medición de la densidad de rayos a tierra con este sistema constituye hasta hoy el medio más exacto para evaluar este parámetro.

Por otra parte además de la latitud y la longitud de cada impacto y de poder discriminar los rayos nube a tierra, La aparición de estos sistemas brinda una poderosa herramienta para caracterizar otros parámetros del rayo, como son, la información sobre el momento en que ocurre la descarga en tiempo real, su valor pico, la cantidad de descargas consecutivas, su polaridad, etc.

CORRIENTE DE RETORNO DEL RAYO

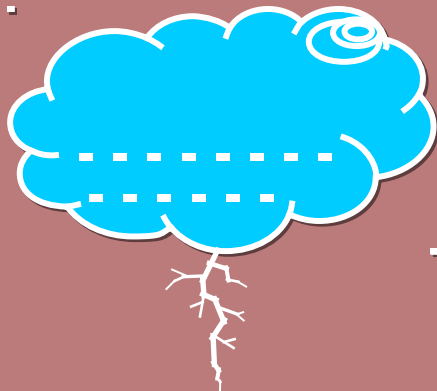
La descarga de retorno es la etapa del fenómeno que tiene mayor aplicación en la ingeniería del diseño y protección de sistemas eléctricos y electrónicos, ya que presenta las mayores magnitudes de corriente eléctrica entre el centro de carga de la nube y tierra. Además, es el suceso óptico más brillante y visible del rayo, donde se produce el mayor calentamiento del canal (aprox. 30 000 °C) generando un fuerte gradiente térmico entre éste y el aire que lo circunda, produciendo la onda de choque que normalmente se escucha en una tormenta y que se conoce como trueno.

Magnitudes de corriente de retorno del rayo en diferentes latitudes



POLARIDAD DEL RAYO

Berger (1978) propuso cuatro tipos de rayos en términos de la dirección del movimiento de las cargas entre la nube y la tierra (ascendente o descendente) y en términos del signo de las cargas del líder que inicia la descarga (positivo o negativo).



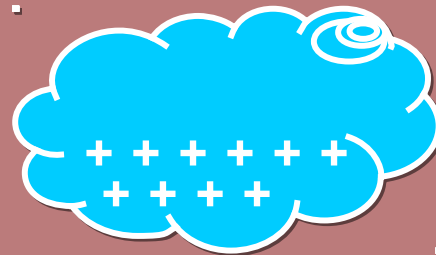
+ + + + + + + +

Descendente negativa



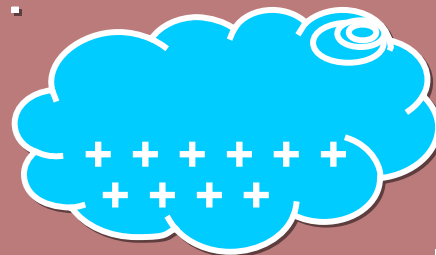
- - - - -

Descendente positiva



- - - - -

Ascendente negativa



+ + + + + + + +

Ascendente positiva



Normativas utilizada

PAÍS	DOCUMENTO FUENTE	PARÁMETRO
Australia	AS 1768-1991	NC
Gran Bretaña	BS 6651-1992	DDT
Canadá	ANSI / NFPA 780-1992	NC
Colombia	NTC-4552 – 1999	NC y DDT
Finlandia	SFS-handbook 33	ALS
Francia	UTE C15-531- 1986	NCD
Alemania	DIN 57185/VDE 0185-1983	NC
Italia	CEI 81-1 – 1990	DDT
Kenya	KS 04-503; Parte 1:1990	NC
Holanda	NEN 1014-1991	NC
Nueva Zelanda	NZS/AS 1768-1991	NC
Polonia	PN-55/E-05003	NC
Singapore	CP33-1985	NC
Sur África	SABS 03-1985	NC
Suecia	SS487 01 10 – 1978	NC
USA	IEEE C62.41 – 1991	NC
USA	ANSI / NFPA 780 – 1995	NC

NC

Días tormentosos al año
(nivel ceráunico)

DDT

Densidad de descargas a tierra

ALS

Average annual lightning strikes
(Promedio anual de impactos)

NCD

Días tormentosos por departamento

Campo de Aplicación

La norma IEC 62305, partes 1 a la 5 es aplicable a la evaluación, diseño, instalación, inspección y mantenimiento de las medidas de protección contra rayos necesarias para reducir o minimizar las pérdidas que estos acarrearán.

Partes de la IEC 62305

- **IEC 62305-1:** Principios generales.
- **IEC 62305-2:** Gestión del riesgo.
- **IEC 62305-3:** Daños físicos y peligro para la vida en las edificaciones.
- **IEC 62305-4:** Sistemas eléctricos y electrónicos en edificaciones.
- **IEC 62305-5:** Servicios.

IEC 62305-1: Principios generales

Notifica sobre el peligro del rayo, las características de los rayos (anexo A) y los parámetros derivados para la simulación de los efectos del rayo (anexo B). Además brinda un recorrido por la serie completa de normas para la protección contra el rayo donde se explican los procedimientos y principios de protección, en los cuales se basan las restantes partes.

■ IEC 62305-2: Gestión del riesgo

Indica el análisis de riesgo para determinar la necesidad de protección contra el rayo y las medidas de protección técnicas y económicamente óptimas que pueden seleccionarse. Brinda la posibilidad de evaluar el riesgo tanto a la edificación en sí como a un servicio en específico.

■ IEC 62305-3: Daños físicos y peligro para la vida en las edificaciones

Se refiere a las medidas de protección para reducir los daños físicos y a la vida debido a las descargas de rayo en la estructura.

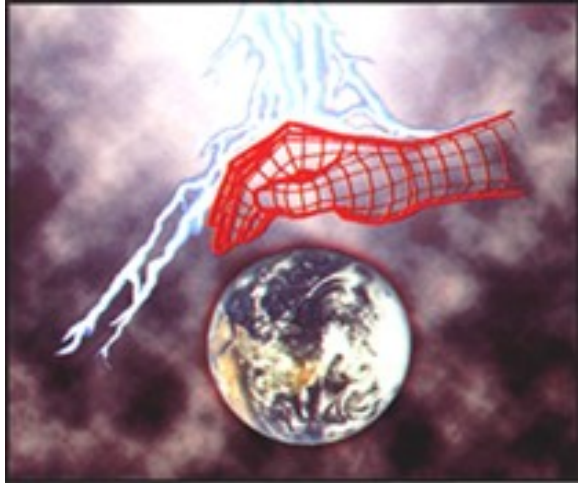
■ IEC 62305-4: Sistemas eléctricos y electrónicos en edificaciones

Se refiere a las medidas de protección para reducir los fallos de los sistemas eléctricos y electrónicos en una edificación.

■ IEC 62305-5: Servicios

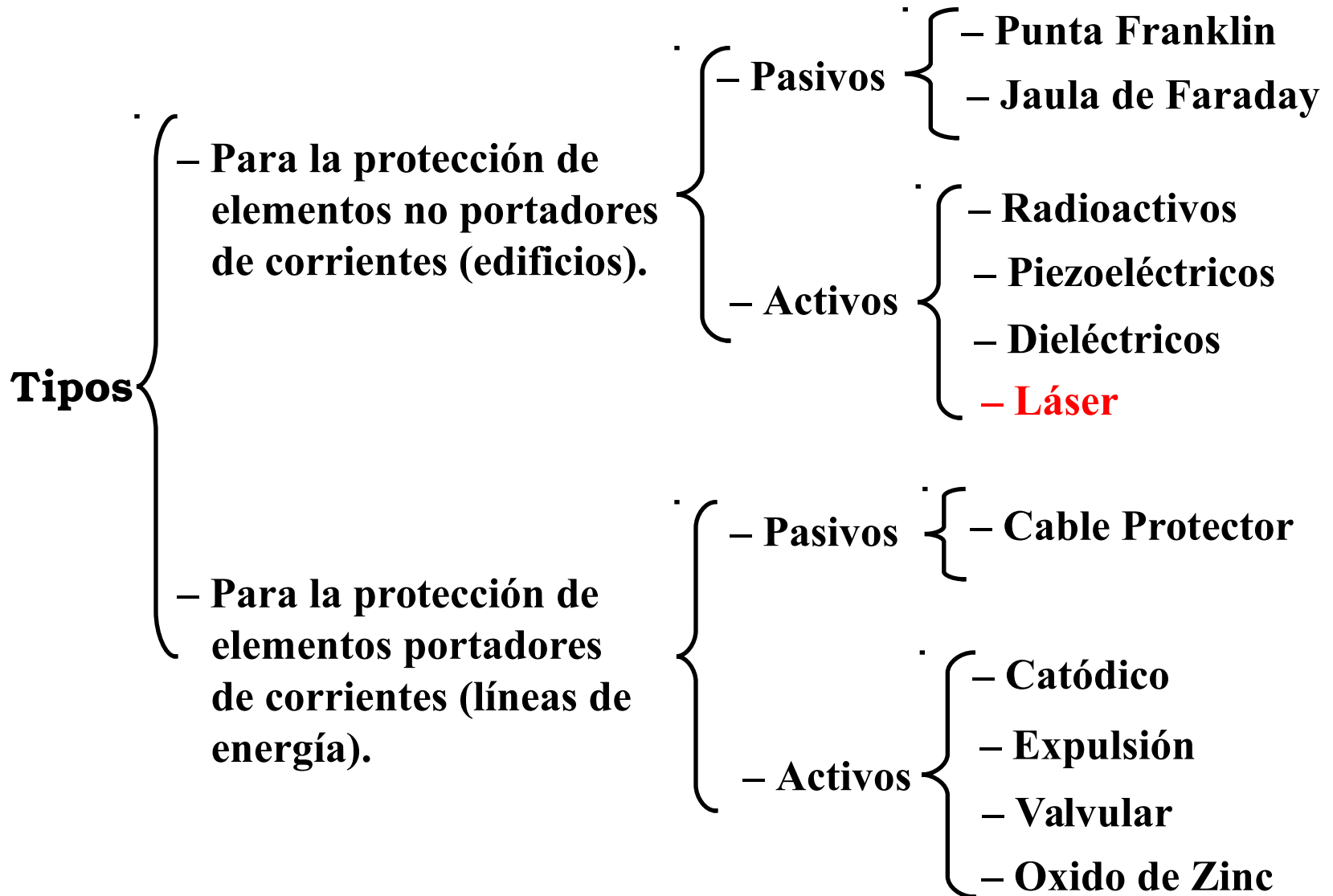
Se refiere a las medidas de protección para reducir los daños y pérdidas de los servicios que entran a la edificación. Ejemplo, líneas eléctricas, líneas de telecomunicaciones, y tuberías metálicas (gas, agua, combustibles).

Precedente para la protección.



- ① Dada la imposibilidad de evitar la formación de un rayo ni evitar su caída hasta el momento. La única propuesta razonable es controlar la recepción y paso de la descarga evitando graves daños personales y materiales.
- ② Solo se puede influir sobre el rayo en los últimos momentos o metros de su descenso.
- ③ El punto de impacto del rayo quedará determinado por el punto de salida en tierra del trazado ascendente.

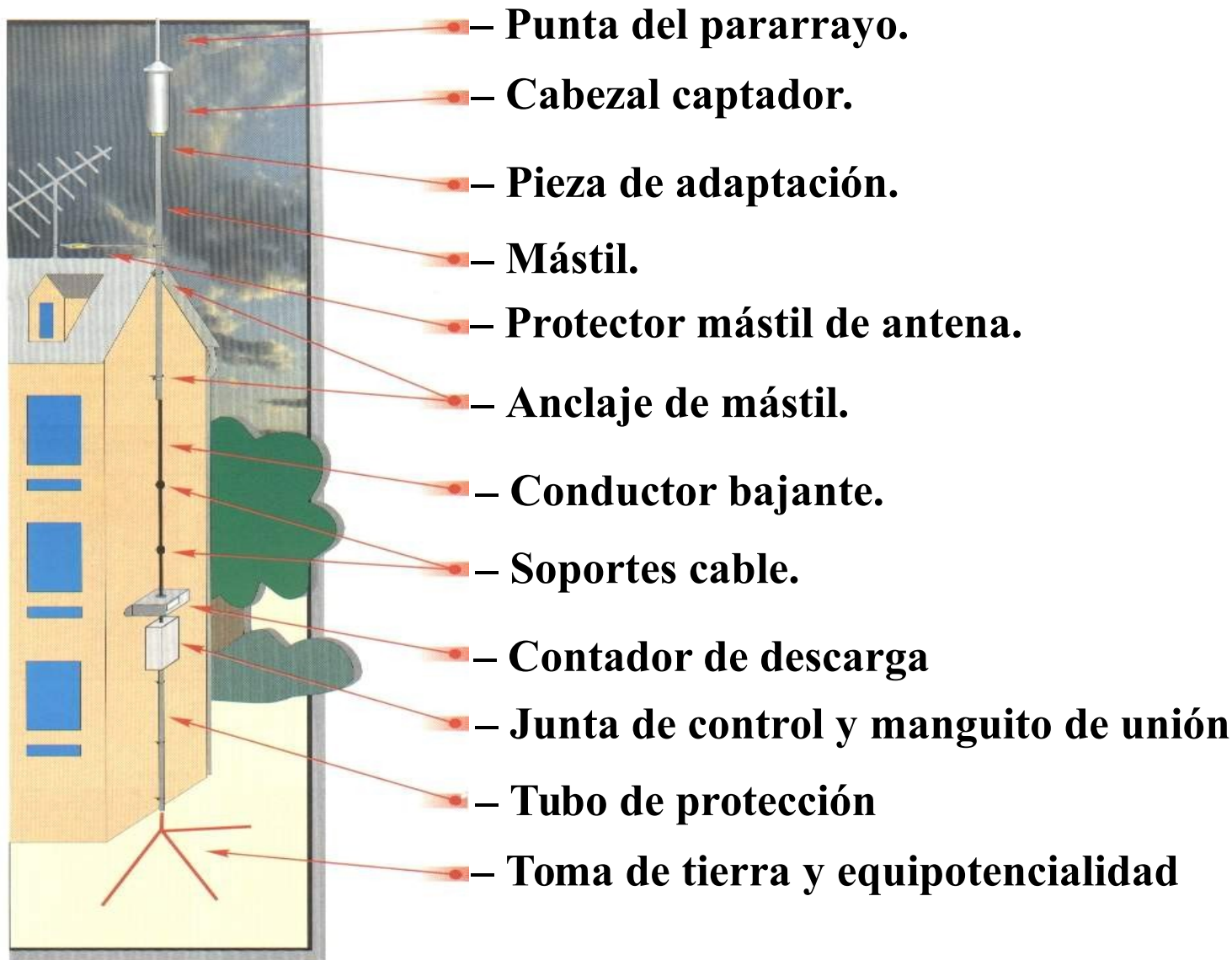
Clasificación de los pararrayos.

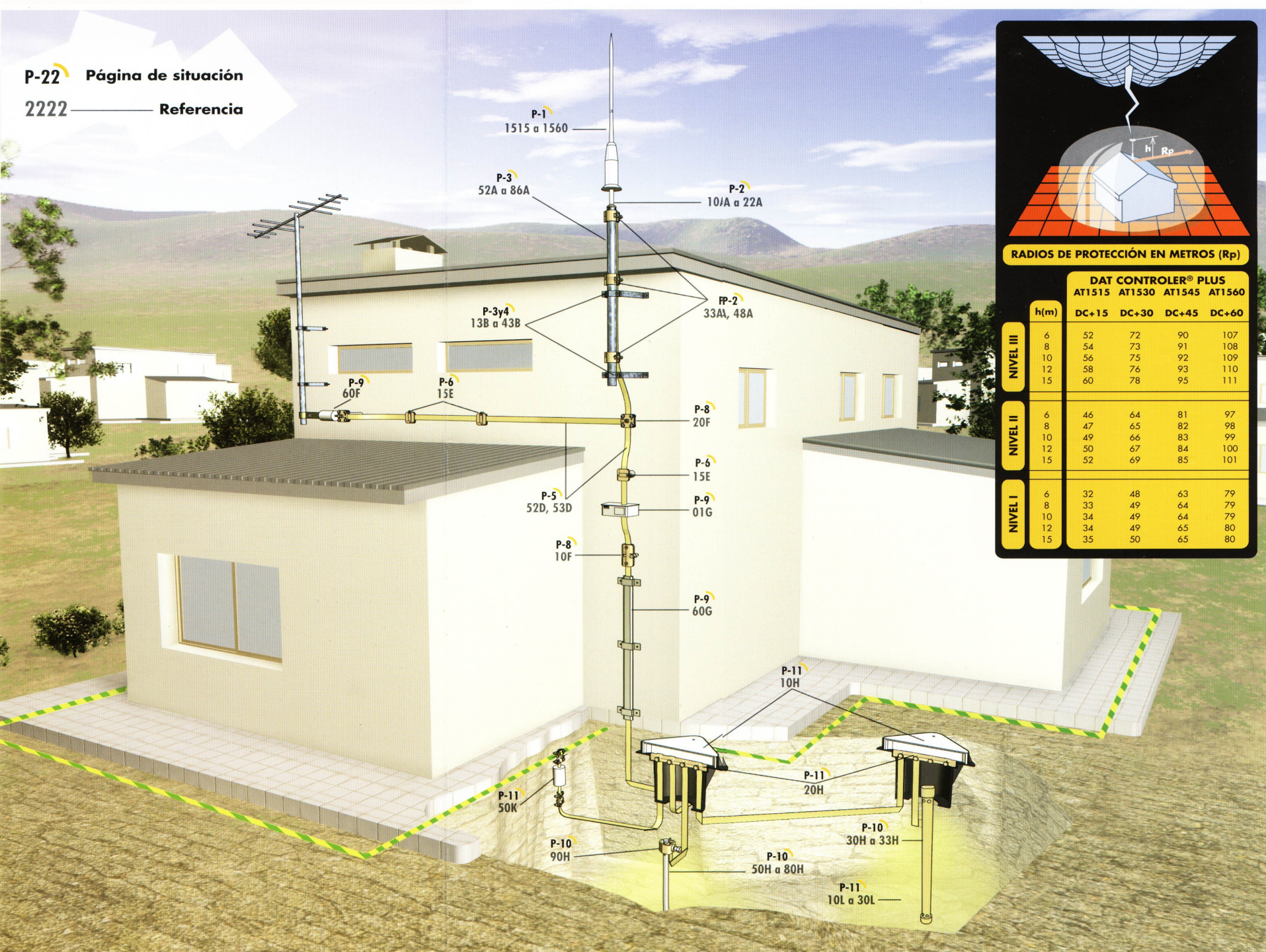




Pararrayos para edificios

Componentes de un pararrayos.





Pararrayos Franklin.

Benjamín Franklin (1752) observó una descarga producida por la llamada **botella de Lyden**. era una chispa y un chasquido con una increíble semejanza a un rayo y el trueno, solo que a menor escala. Un experimento el cual consistió en empinar un barrilete en una tormenta con el hilo mojado para conducir la electricidad, el barrilete con una punta metálica y una llave cerca del extremo que sostenía Franklin. No había caído ningún rayo sobre la cometa, sino que manifestaba una corriente en la llave, fruto de la diferencia de tensión entre el cielo y la tierra.

Al año siguiente (1753) Georg Wilhem Richmann, trabajó sobre la idea de Franklin disponiendo una varilla para la captura de rayos. Pero no fue tan afortunado como su colega norteamericano (Franklin) y murió al recibir una descarga. Es el riesgo de los que exploran en el límite de lo conocido.

Pararrayos Franklin.

En síntesis, un pararrayo Franklin es una barra vertical terminada en punta y conectada a tierra a través de un conductor de sección adecuada. La punta Franklin basa su funcionamiento en el llamado “efecto punta”.

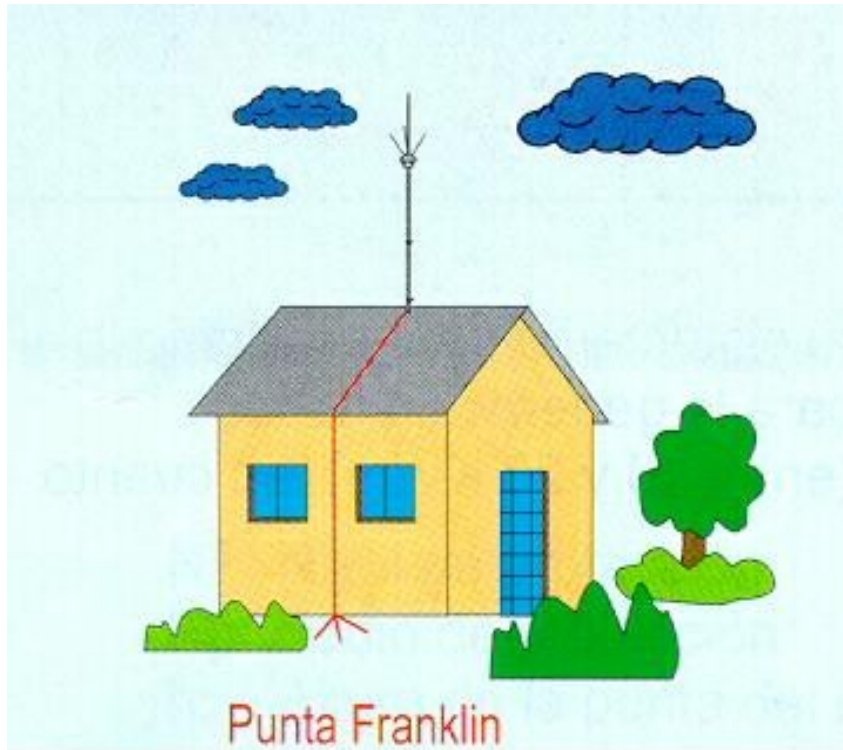


– De una sola punta

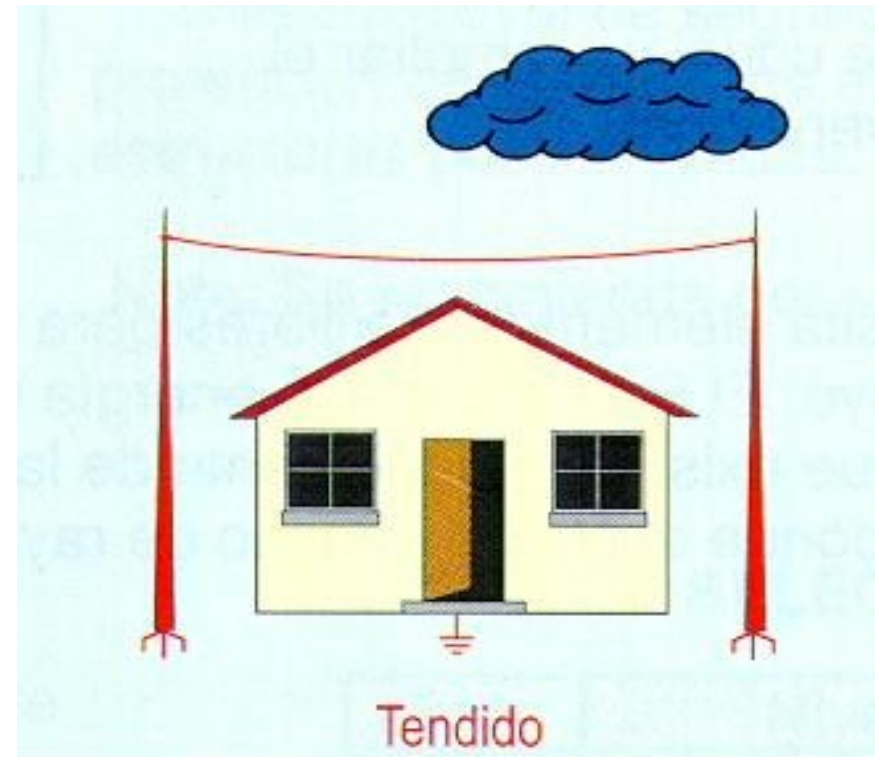


– De varias puntas

Forma de conexión del Pararrayos Franklin.



– Con una sola varilla.



– Con varilla horizontal
(Un conductor).

Jaula de Faraday.



– 1884 El físico Belga propuso proteger los edificios encerrándolo dentro de una jaula de Faraday. Asegurando que en el interior de una caja cerrada por paredes metálicas y perfecta continuidad eléctrica no se ve afectada por ninguna variación del campo eléctrico externo.

Siendo este el método más efectivo en la protección contra el rayo.

Como se puede deducir inmediatamente el costo de una instalación de este tipo es elevadísimo al mismo tiempo que el resultado estético puede ser deplorable.

Pararrayo radioactivo.



Las primeras experiencias con pararrayos radiactivos se remontan a 1914 y fueron realizadas por el físico inglés L. Szyllard.

No es más que una punta metálica provista de sales radioactivas de Radio-226 colocada en un campo eléctrico, la cual proporciona una corriente eléctrica producida por las partículas alfa y beta y radiación gamma emitidas por el material radioactivo utilizado.

Es de todo conocido el alto poder ionizante de las partículas alfa que al entrar en colisión con las moléculas del aire van perdiendo su energía dejando a su paso pares de iones de signo opuesto. De la misma forma actúan las partículas betas y los rayos gamma pero con mucha menor eficacia. así a constituir un canal ionizado de baja impedancia eléctrica entre la tierra y la nube, que servirá para canalizar una posible descarga hasta su disipación.

Características de los pararrayos radioactivos.

① Estos pararrayos tienen amplias zonas de protección.

② Son relativamente baratos.

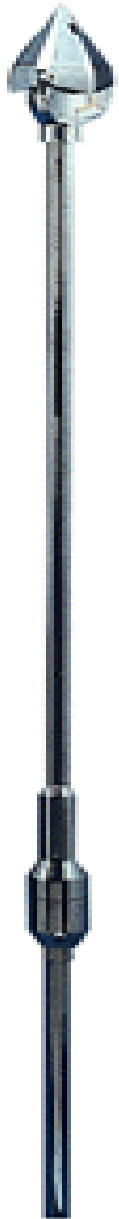


③ Actualmente se ha prohibido el uso de este tipo de pararrayos por el peligro que puede traer el rompimiento del material que envuelve al elemento radioactivo.

Pararrayo Piezoeléctrico.

Como se sabe, el aplicar una presión sobre un cristal de cuarzo se produce una polarización de sus caras, estableciéndose una diferencia de potencial muy elevada en las mismas. Esta diferencia de potencial puede hacer saltar una pequeña descarga disruptiva ionizante entre los electrodos metálicos conectados en cada una de esas caras.

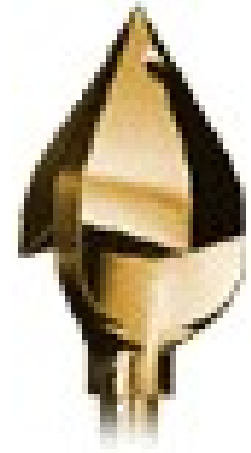
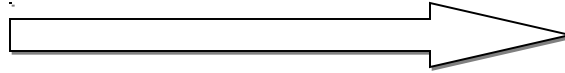
← Ejemplo de este pararrayo es el Saint-Elme diseñado por el francés *Franklin France*, el cual obtuvo el premio de innovación tecnológica en 1986.



Pararrayo Piezoeléctrico.

Partes que lo componen

- Cabeza captadora
- Un asta de soporte.
- Un estimulador piezoeléctrico



Características fundamentales

- ① El funcionamiento correcto de este pararrayos requiere de la acción del viento, no siempre presente en las tormentas. Por otra parte, la descarga piezoeléctrica es un fenómeno intermitente, esto quiere decir que entre descarga y descarga puede existir un tiempo de inactividad lo que haría que la ionización desapareciera en la atmósfera por recombinación.
- ② No requiere ninguna vigilancia ni mantenimiento.
- ③ Robusto, estético y poco costoso.

Pararrayo Piezoeléctrico.

Pararrayo de la firma INDALEC



Existen firmas que proporcionan software para el cálculo de sus pararrayos como por ejemplo ésta.

[*Hacer clic aquí*](#)

Clasificación de los pararrayos Dieléctricos.

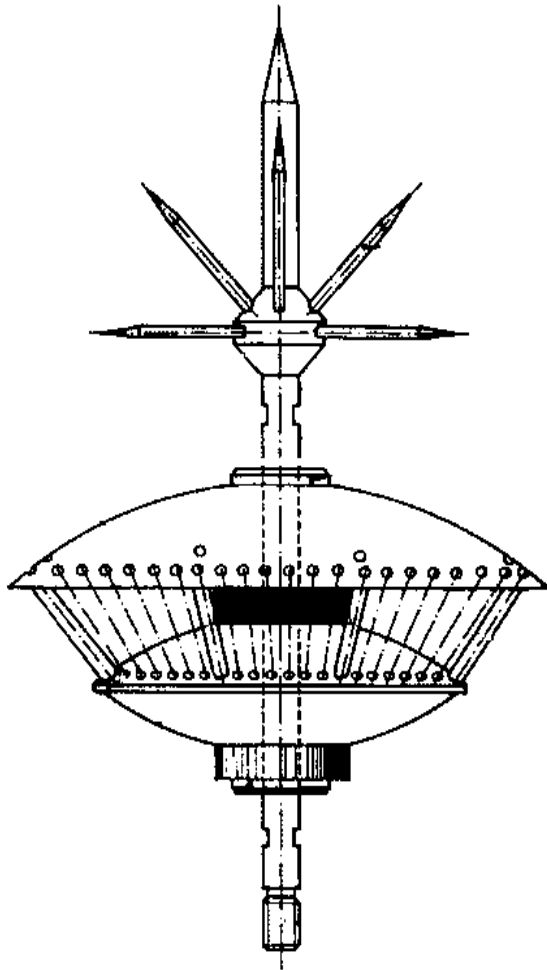
Tipos

– Pararrayos dieléctricos.

– Pararrayos dieléctricos condensador electroatmosférico.

– Pararrayos dieléctricos condensador-generador.

Pararrayo Dieléctrico.



Básicamente estos aparatos incorporan aros o planchas metálicas paralelas y aisladas entre sí, constituyéndose como armadura de un condensador, una de estas planchas o electrodos se encuentra conectada a tierra y las otras a una punta metálica.

Con la presencia de nubes tormentosas y en la caída del rayo se eleva el valor del campo electrostático lo que establecerá en las armaduras del condensador una diferencia de potencial por lo que se ionizara el ambiente en las puntas situadas entre los electrodos y por consiguiente una formación iónica en avalancha.

Pararrayo Dieléctrico Condensador-Electroatmosférico (ION-CORONA DAT).

Pararrayos ION-CORONA (SOLAR o DAT)



Este pararrayo ha solucionado la anterior incertidumbre de funcionamiento o tiempo muerto de respuesta del pararrayo dieléctrico y Piezoeléctrico, al proporcionar, por medio de un dispositivo electrónico productor de ionización, una gran cantidad de cargas libres necesarias para que el proceso de carga-descarga del condensador no se vea, en ningún momento, retrasado o interrumpido.

Para su alimentación dispone de un panel solar homologado de silicio monocristalino 12 V, 5 W, y acumulador de energía de plomo seco, con autonomía de 20 días de funcionamiento normal continuado en ausencia total de insolación.

Pararrayo Dieléctrico Condensador-Generador (EC-SAT).



Este sistema dispone de un transfor-generador de impulsos eléctricos de alta tensión con funcionamiento alterno.

En los campos eléctricos inferiores a 6 kV/m es muy difícil que se exciten los dispositivos de cebado convencionales con estos campos eléctricos bajos. EC-SAT capta esta energía, acumulándola y mediante su transfor-generador libera unos impulsos de alta tensión que en pequeños intervalos son liberados a la atmósfera en forma de líderes o trazados ascendentes, alcanzando una velocidad de $1\text{m}/\mu\text{s}$.

Pararrayo Láser.

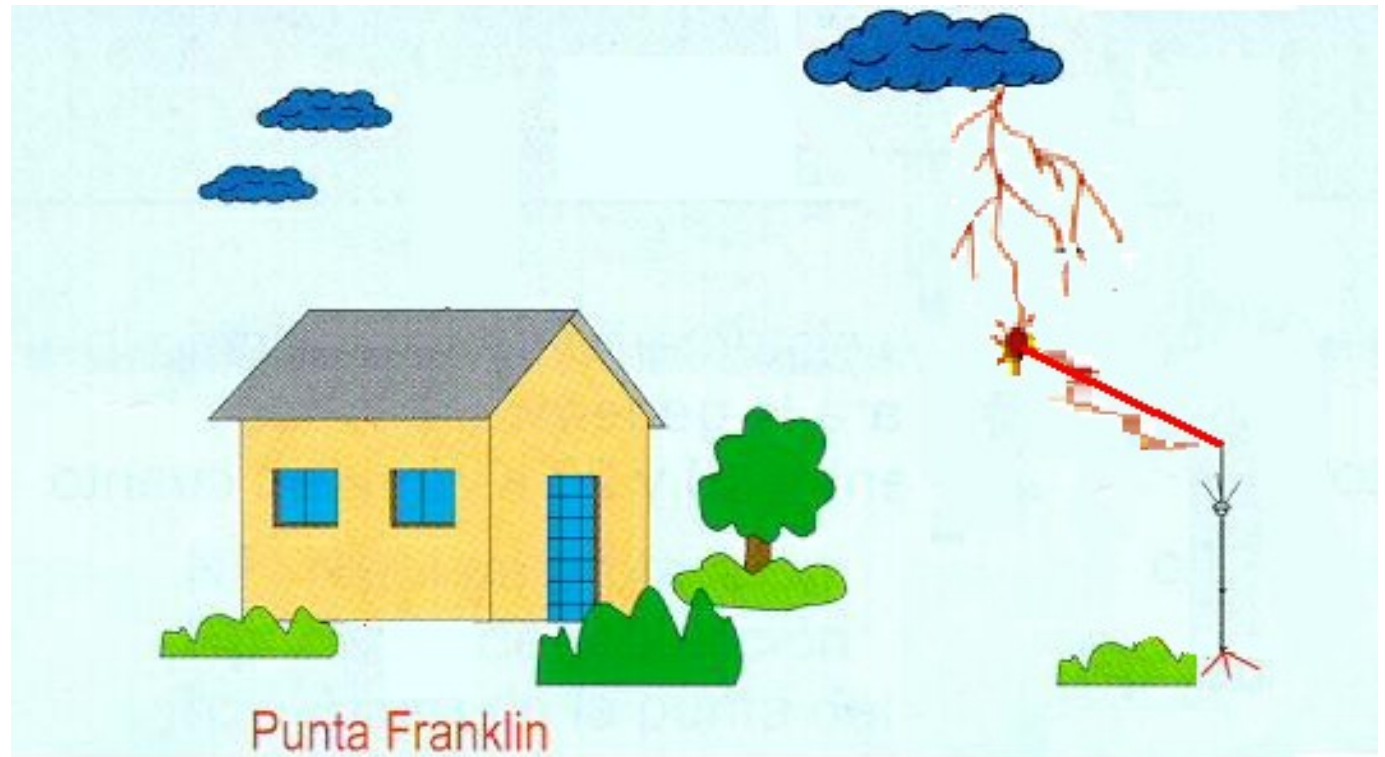
Una de las variantes que al parecer esta dando resultados prometedores, es la utilización de *rayos láser* para provocar una descarga controlada y orientarla lejos de zonas peligrosas.

El primer intento fue la utilización de un *rayo láser del tipo infrarrojo*; la idea era que el empleo del láser generara un nuevo camino por el cual el rayo fuera conducido desde la nube hacia el suelo, pero la idea no tuvo resultados.

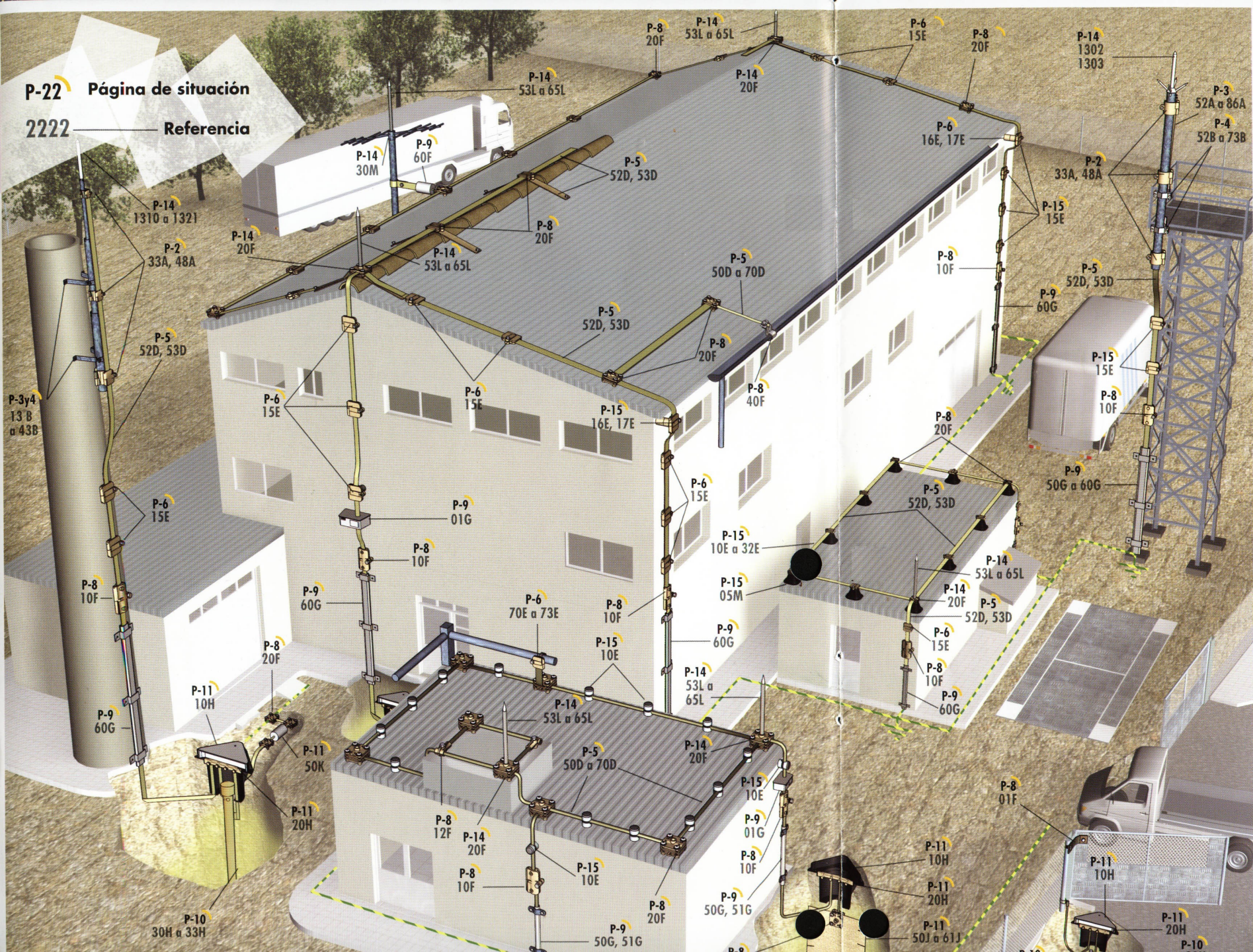
Se ha tratado de mejorar la idea, utilizando esta vez, no solo un haz de láser, sino varios haces de láser infrarrojos apuntados a distintos puntos de la nube. De esta manera, se logró (en ensayos de laboratorio) desviar descargas eléctricas de más de 7 (siete) metros de longitud.

Pararrayo Láser.

Mientras tanto, otro equipo de científicos calcularon teóricamente que utilizando un *rayo láser ultra violeta de baja energía* daba mayores resultados.



– Ejemplo de este tipo de protección





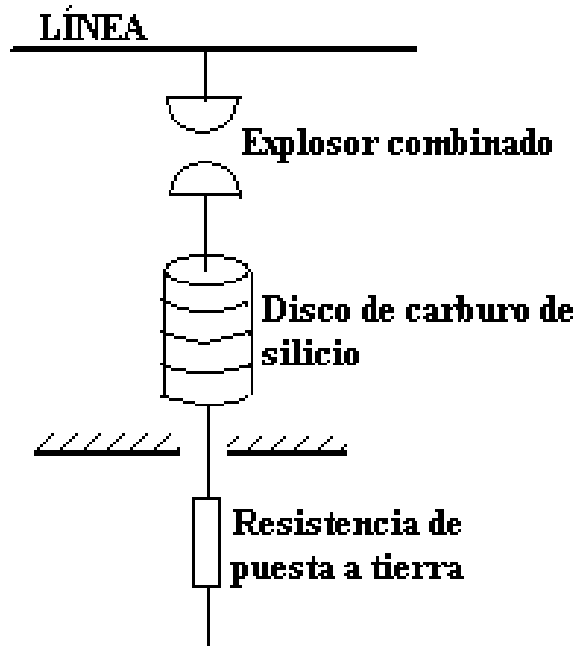
Pararrayos para Línea de transmisión

Cable Protector.



La protección más común y efectiva contra las descargas atmosféricas en las líneas aéreas la constituye el cable protector, con el cual se pueden lograr altos grados de apantallamiento, el que dependerá del ángulo de protección al igual que en los mástiles. El ángulo de protección está normalmente entre los 20° y 40° , siendo el valor más usual el de 30° . El número de cables protectores dependerá del número de circuitos de la línea, de su configuración y del grado de apantallamiento que se requiera.

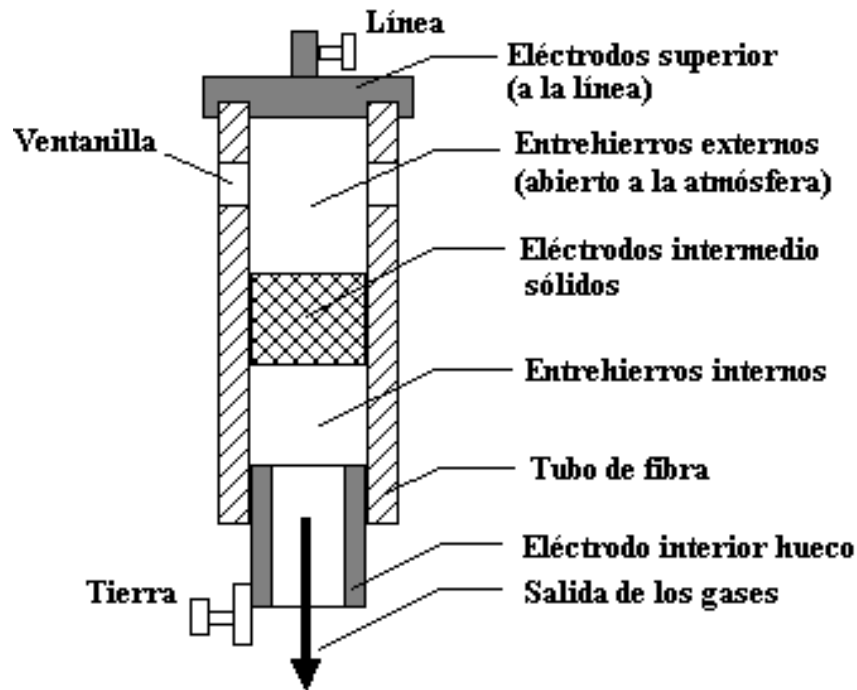
Pararrayo Catódico.



Este tipo de pararrayo, de origen alemán, posee un explosor de disparo, que determina el nivel de protección dado por el descargador.

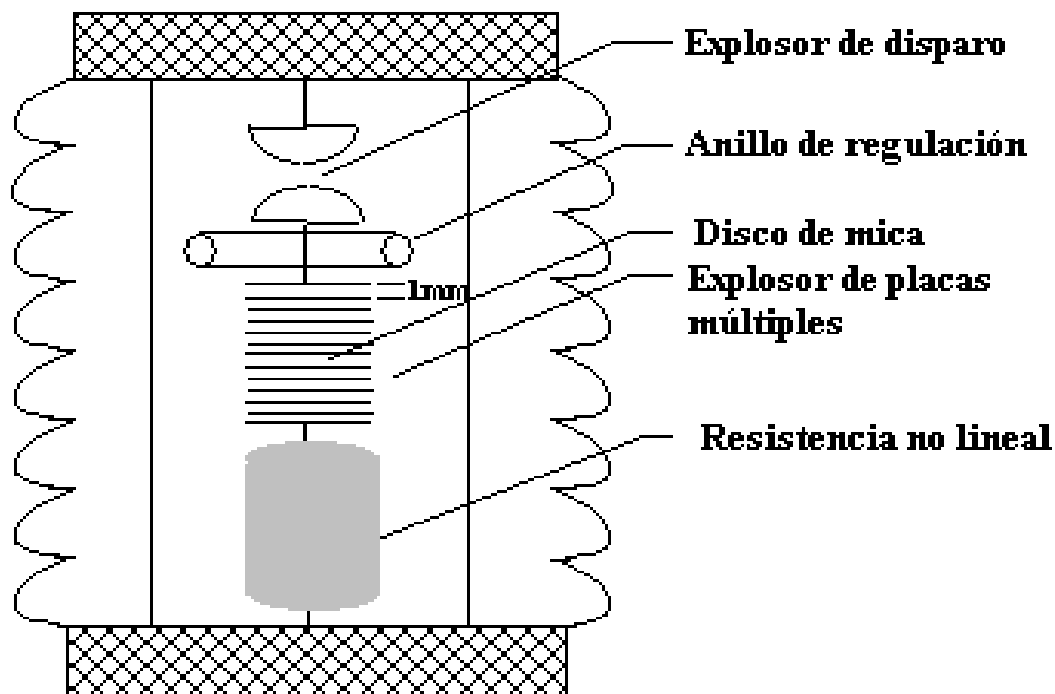
El explosor consta de electrodos divididos. En caso de variaciones de la tensión de servicio, actúa, como salidas de chispas. Si por el contrario, se manifiesta una sobretensión u onda viajera, con incrementos bruscos, la tensión en la parte exterior del electrodo se encuentra retrasada con relación a la interior, de forma que este electrodo, con sus cantos vivos, actúa como si fuese un descargador de puntas, facilitando con ello la descarga a tierra.

Pararrayo de Expulsión.



Este tipo de pararrayo se utiliza en sistemas de distribución de energía. Estos pararrayos consisten en una sección de entrehierros y una cámara de expulsión, todo dentro de un cuerpo aislante de porcelana. La función de los entrehierros es mantener el sistema aislado para las tensiones de operación y permitir la descarga cuando se produzca una sobretensión mayor que la permisible por el nivel básico de aislamiento del sistema en cuestión, con lo que permite que circule la corriente a través de la cámara de expulsión.

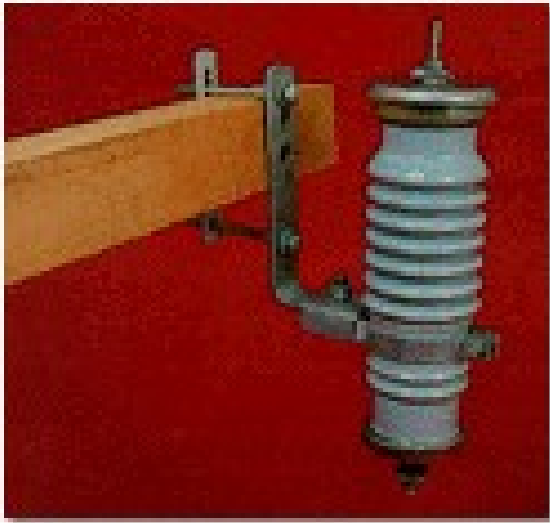
Pararrayo de Valvular



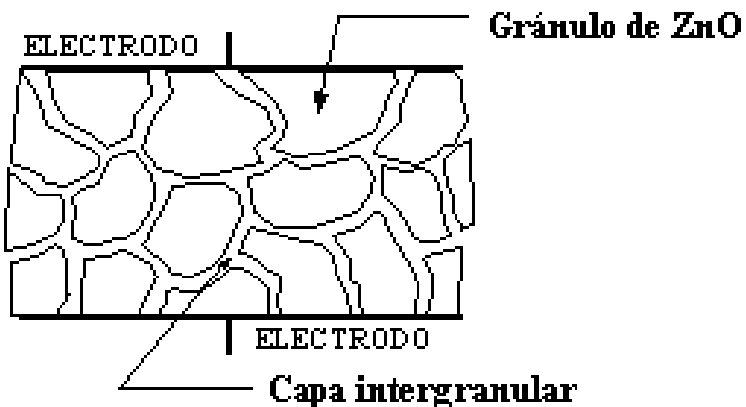
Una de las desventajas de los pararrayos conocidos hasta ahora, exceptuando al descargador catódico, reside en que la operación del dispositivo conlleva a un cortocircuito en el sistema.

El resultado de las mejoras del pararrayo catódico y las innovaciones surgidas en los años sesenta permitieron el desarrollo de un pararrayo más eficiente y más confiable, al cual se le ha denominado valvular o autoválvula, debido al comportamiento característico de su sistema no lineal.

Pararrayo de Oxido de Zinc



Los pararrayos con resistencias a base de óxido de metálico u óxido de zinc comenzaron a penetrar en el mercado en la década de los años 70.



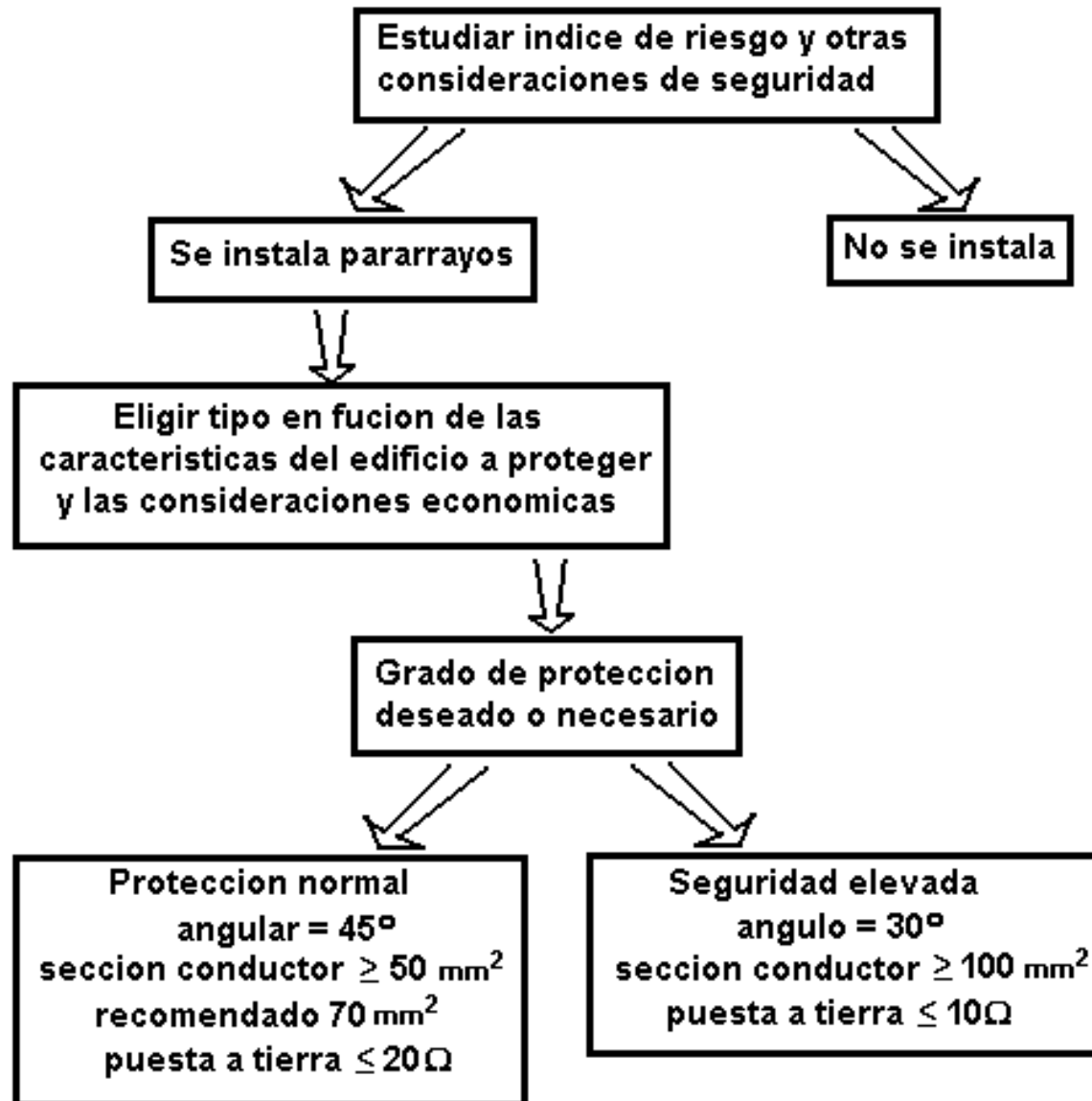
Estos son los más modernos y son utilizados en líneas de alta tensión, soporta mayores corrientes y son más eficientes.

– Composición interna.



Calculo del pararrayo

Cálculo del pararrayo



Cálculo del pararrayo

Determinación del índice de riesgo

$$IR = \alpha + \beta + \tau + \delta + \theta + \sigma + \omega.$$

α = Índice promedio de días en el año con tormentas eléctricas en la zona.

β = Índice de uso de la edificación.

τ = Índice del tipo de edificio.

δ = Índice de estructura y construcción del objeto.

θ = Índice de altura del objetivo respecto al terreno.

σ = Índice de orografía o tipo de terreno.

ω = Índice de tipo de región de ubicación del objetivo.

Si la suma de estos coeficientes es igual o superior a 40, el edificio necesita protección contra el rayo.

$$\alpha + \beta + \tau + \delta + \theta + \sigma + \omega \geq 40 \Rightarrow \text{si protección.}$$

Cálculo del pararrayo

# de días de tormenta al año		Índice α
Mayor de	Menor de	
-	3	3
3	6	5
6	9	8
9	12	11
12	15	14
15	18	17
18	21	20
21	-	21

Cálculo del pararrayo

USO DE LA EDIFICACION	Índice β
Casa unifamiliares normal	2
Casa unifamiliares con antena exterior	4
Factorías, talleres, laboratorios	6
Bloques de oficinas, apartamentos o pisos	7
Edificios públicos (iglesias, museos, estaciones, etc.)	8
Escuelas, hospitales, orfanatos, etc	10

Cálculo del pararrayo

TIPO DE EDIFICIO	Índice τ
Edificios corrientes de oficinas o viviendas	2
Edificios industriales	5
Centrales (eléctricas, telefónicas, radio, etc.	6
Plantas industriales clave, monumentos o edificio con objetos valiosos	8
Escuelas, hospitales, etc. (riesgo especial)	10

Cálculo del pararrayo

ESTRUCTURA Y CONSTRUCCION	ÍNDICE δ
Estructura de acero, con tejado no metálico	1
Estructura de hormigón armado con tejado no metálico	2
Ladrillo, hormigón en masa o mampostería, tejado no metálico	4
Estructura de madera o revestimiento, tejado no metálicos	5
Ladrillo, hormigón en masa o mampostería, tejado metálico	7
Edificación con tejado de ramaje	10

Cálculo del pararrayo

Altura del edificio sobre el suelo (m)		ÍNDICE θ
Mayor de	Menor de	
-	9	2
9	15	4
15	18	5
18	24	8
24	30	11
30	38	16
38	46	22
46	60	30

Cálculo del pararrayo

OROGRAFIA	ÍNDICE σ
Terreno llano	2
Terreno ondulado	6
Terreno de montaña (300 a 900 m. de altitud)	8
Terreno de montaña (más de 900 m. de altitud)	10

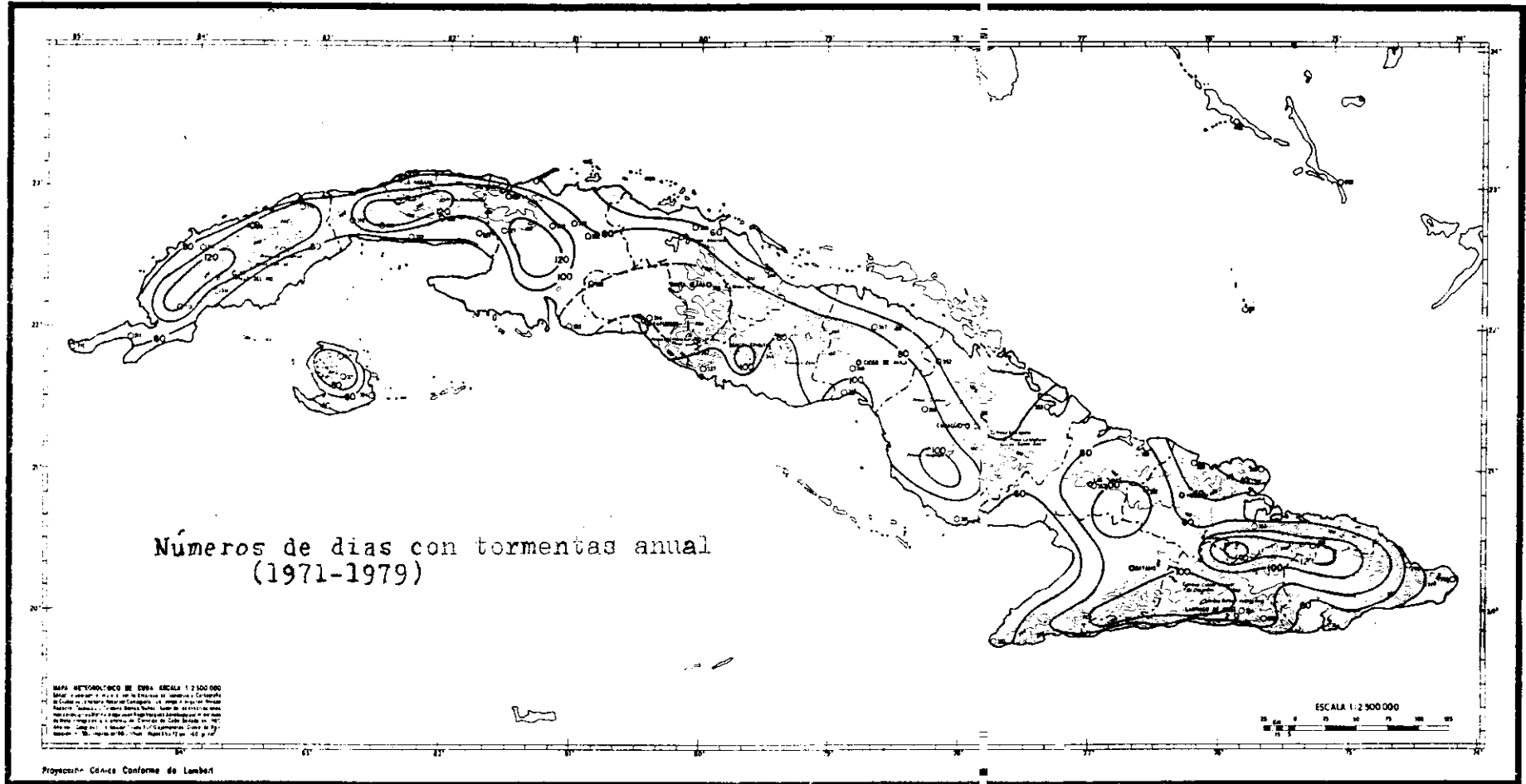
Cálculo del pararrayo

ZONA DE SITUACION	ÍNDICE ω
Zona extensa de edificios o árboles de igual o mayor altura	2
Zona con pocas edificaciones o árboles de similar altura	5
Zona aislada	10

Cálculo del pararrayo

ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

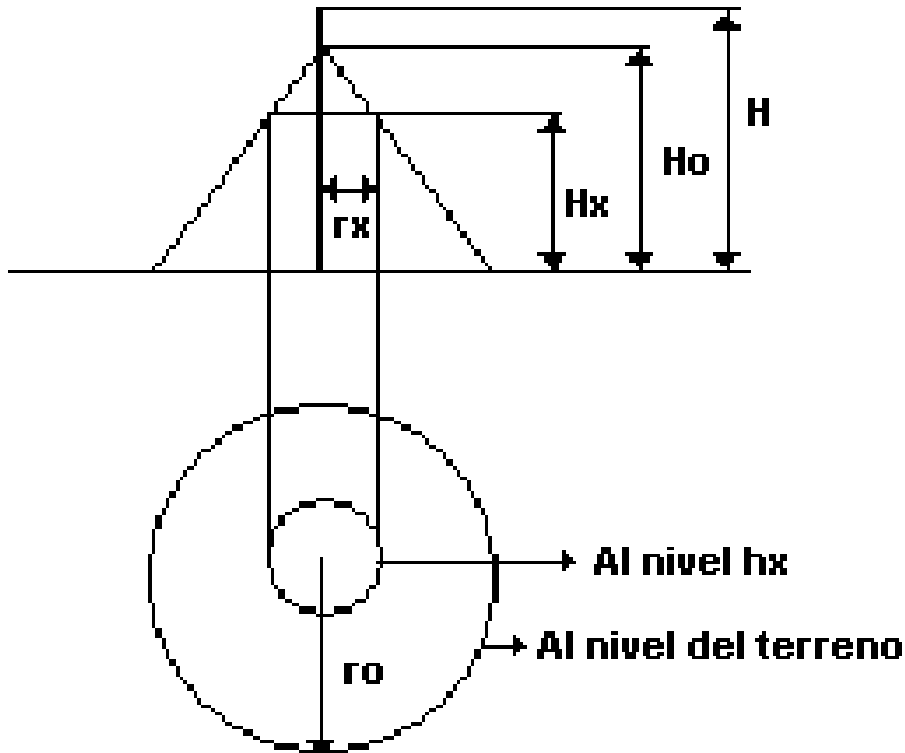
INSTITUTO DE METEOROLOGIA
DEPARTAMENTO DE CLIMATOLOGIA



△ Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía

Cálculo del pararrayo

Cálculo del mástil de un pararrayo franklin



Donde:

H - Altura del mástil.

H_o - Altura del cono de protección

H_x - Altura del objetivo a proteger.

r_x - Radio de la zona de protección a la altura H_x .

r_o - Radio de la zona de protección al nivel del terreno.

Cálculo del pararrayo

Zona A: zona que posee un grado de seguridad igual o mayor que 99.5 %.

Zona b: zona que posee un grado de seguridad igual o mayor que el 95 % y menor que 99.5 %.

Zona A

$$H_0 = 0.85 \times H$$

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \times H) \times H$$

$$r_0 = (1.1 - 0.002 \times H) \times \left(H - \frac{H_x}{0.85} \right)$$

Cálculo del pararrayo

Zona A: zona que posee un grado de seguridad igual o mayor que 99.5 %.

Zona b: zona que posee un grado de seguridad igual o mayor que el 95 % y menor que 99.5 %.

Zona B

$$H_0 = 0.92 \times H$$

$$r_0 = 1.5 \times H$$

$$r_0 = 1.5 \times \left(H - \frac{H_x}{0.92} \right)$$

$$H = \frac{r_x + 1.63 H_x}{1.5}$$

Bibliografía

1. IEC 62305 Protección contra el rayo.
2. Electrical Engineering Handbook. Richard Dorf.
3. Industrial Power Systems Handbook. D. Beeman.
4. Electrical Power Supply and Distribution. Army.
5. IEE Wiring Regulations for Electrical Installations. Sixteenth. BS 7671:1992.
6. IEC International Electrotechnical. Vocabulary. Chapter 826: Electrical installations of buildings. Publication 50 (826) 1982.
7. Substation Grounding IEEE.
8. Distribución en baja tensión: protección de personas. Artículo de Merlin Gerin.
9. Canadian Electrical Code. Part I. C22.1-1982. Safety Standard for Electrical Installations.
10. National Electrical Code. 1993 Edition. NFPA 70