

# RAYOS NO GRACIAS

Aportado por: Angel Rodríguez (Andorra) - [andorra@int-sl.ad](mailto:andorra@int-sl.ad)



Angel Rodríguez Montes  
[arm@andorra.ad](mailto:arm@andorra.ad)

## La gran pregunta

¿Por qué atraer la descarga del rayo a una zona que queremos proteger?  
¿No sería mejor evitar la descarga y concentrarla en zonas no urbanizadas o industriales?

A estas preguntas trataremos de responder en este trabajo. Hablaremos de los rayos y descargas eléctricas, los problemas que causan, actividades sensibles humanas a la actividad eléctrica, etc., y terminaremos con los sistemas de protección que actualmente disponemos.

## Introducción

Es bien sabido que el clima está cambiando poco a poco, bien por causas naturales o antropogénicas o ambas a la vez. La expresión “ el tiempo está loco” se acentúa cada vez más. Entre otros fenómenos y desastres climatológicos podemos señalar aumento progresivo de las tormentas, así como su intensa eléctrica (1, Ver referencias).

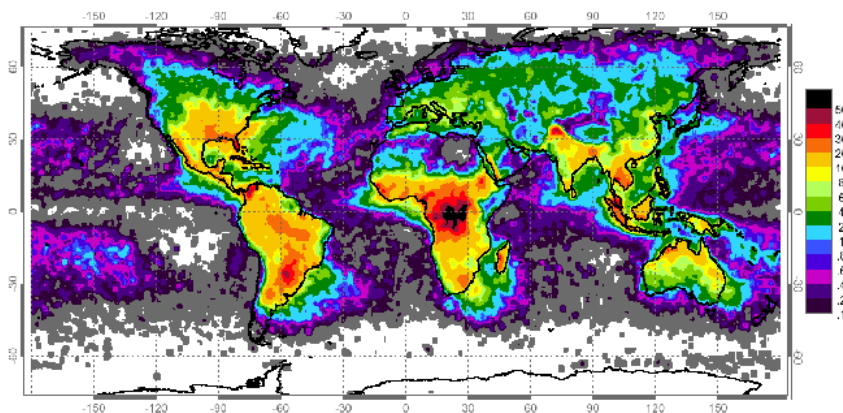


FIGURA2, mapa Keráunico mundial.

Diariamente en el mundo se producen unas 44.000 tormentas y se generan mas de 8.000.000 de rayos según el sistema de detección mundial de meteorología.

Casi todas las descargas naturales se inician en el interior de las nubes y progresan en forma de árbol de diferentes ramas, unas se compensan con cargas negativas y las otras con cargas positivas; en su trayectoria transportan corrientes eléctricas que pueden llegar como término medio a 30.000 Amperios a valores máximos superiores a los 300.000 Amperios durante millonésimas de segundo con potenciales que se han llegado a estimar en valores que sobrepasaban los 15 millones de voltios desprendiendo una energía térmica superior a los 8.000 grados, como referencia atípica en España el 7 de agosto de 1992 en un solo día cayeron 32.000 rayos según el Servicio de teledetección de rayos del Instituto Nacional de meteorología

Los rayos han causado en España, desde 1941 hasta 1979, alrededor de 2.000 muertos (1,6 muertos por año y millón de habitantes). El Instituto Nacional de Meteorología dispone desde 1992 de una moderna red que permite detectar los rayos que caen en todo el territorio nacional. ([www.inm.es](http://www.inm.es)) .

No hay duda del gran peligro asociado al fenómeno rayo junto con sus efectos destructivos por el impacto directo o indirecto; por ese motivo estamos sensibilizando a la población a revisar las necesidades de protección del impacto directo del rayo y la efectividad de los sistemas actuales de pararrayos.

En este artículo nos referiremos a los rayos, que son las descargas eléctricas generadas entre la nube y la tierra.



FIGURA1 [www.meteored.com](http://www.meteored.com) Autor : Rafael

**La prevención.** Es una responsabilidad de todos, la necesidad de una protección eficaz del rayo es evidente en muchas actividades humanas. Quien se tiene que proteger somos nosotros, no tenemos que excitar ni atraer la descarga brutal del rayo. Tenemos que transferir la carga eléctrica atmosférica pacíficamente, antes de que el rayo se forme y evitar, así, su caída o impacto directo.

**Nuestra obligación, como empresa, es informarle** de algunos temas relevantes del fenómeno rayo y sistemas de protección (Pararrayos). Es conveniente analizar la problemática actual y las necesidades reales de protección del rayo que necesitamos cada uno de nosotros según la tipología de cada instalación. También, queremos dar a conocer los diferentes principios de funcionamiento de algunos pararrayos.

## **El rayo: sus efectos, repercusiones eléctricas y algunos sistemas de protección directa ( pararrayos)**

**rayo** es la reacción eléctrica causada por la saturación de cargas electroestáticas que han sido generadas y acumuladas progresivamente durante la activación del fenómeno eléctrico de una tormenta. Durante unas fracciones de segundos, la energía electrostática acumulada se convierte durante la descarga en energía electromagnética (el relámpago visible y la interferencia de ruido), energía acústica ( trueno) y, finalmente calor. **El fenómeno rayo** se representa aleatoriamente a partir de un potencial eléctrico atmosférico ( 10/45 kV), entre dos puntos de atracción de diferente polaridad e igual potencial para compensar las cargas.

**La densidad de carga del rayo** es proporcional a la saturación de carga electrostática de la zona. A mayor densidad de carga, mayor es el riesgo de generar un líder y a continuación una descarga de rayo.

**El líder** o guía escalonada (Step Leader) es el trazador que guiara la descarga del rayo a la zona donde se genere. El rayo tiende a seguir un camino preparado, **es la concentración de transferencia de electrones** (10.000 Culombios por segundos) en un punto concreto para compensar las cargas electroestáticas de signos opuestos. Durante su generación y en función de la transferencia de carga, el fenómeno se puede representar (Efecto Corona ) en forma de chispas eléctricas generalmente de color verde-azul y con fuerte olor a ozono ( ionización del aire). No es constante ni estable y puede viajar y moverse en función de los puntos calientes de ionización (fuego de Sant Elmo). Cuando se visualiza este fenómeno, el campo eléctrico-Atmosférico de alta tensión es tan grande que los pelos de la piel se ponen de punta hacia arriba y la descarga de rayo se puede representar.

**La intensidad de la descarga del rayo es variable** y dependerá del momento crítico de la ruptura de la resistencia del aire entre los dos puntos de transferencia. También estará influenciada por la resistencia de los materiales expuestos en serie, como por ejemplo: tierra, roca, madera, hierro, instalaciones de pararrayos, las puestas a tierra, etc.

**El aire no es un aislante perfecto** su resistencia dieléctrica antes de la ruptura es de 3kV /mm y varia proporcionalmente con la altura.

La ruptura del dieléctrica del aire también variará según el grado de contaminación atmosférica, temperatura, humedad, presión y radiación electromagnética natural o no.

**El rayo puede transportar una carga de electrones** en menos de un segundo equivalente a 100 millones de bombillas ordinarias, la media que se valora por rayo es de 20GW de potencia.

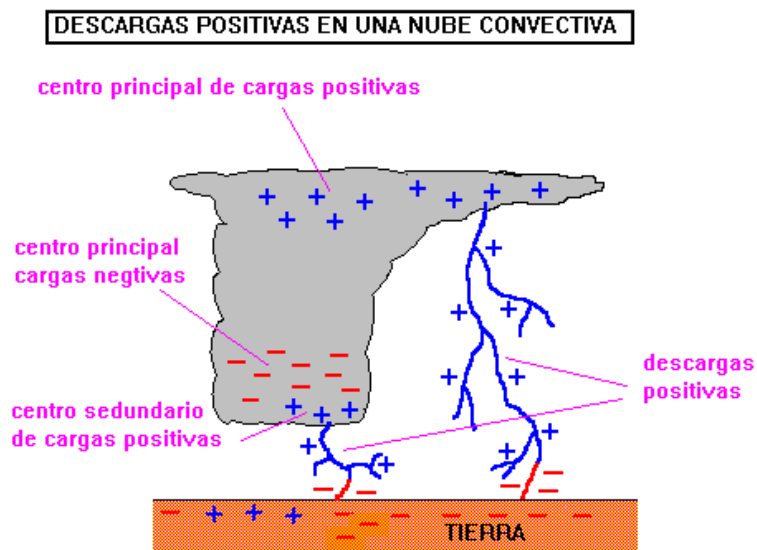


FIGURA 3. [Modelos Conceptuales: Rayos \(MCM2\)](#)  
Autores : Olinda Carretro Porris, Francisco Martín León.

**El sentido de la descarga del rayo** es, generalmente, un 80% de nube a tierra (rayos negativos), el 10 % son descargas ascendentes de tierra a nube (rayos positivos). Las descargas de los rayos positivos suelen ser de más intensidad que los negativos (2, Ver referencias).

**La trayectoria del rayo puede ser caótica**, siempre predominarán los ambientes eléctricos cargados, aunque los estudios del campo eléctrico atmosférico en tierra determinan que la distribución de cargas en tierra no es estática, sino que es dinámica al formarse y generar aleatoriamente chispas en diferentes puntos geográficos al mismo tiempo, la intensidad y situación del campo cambia radicalmente. **No se puede garantizar la zona de impacto del rayo** una vez formado sin una protección adecuada.



Figura 4, [www.meteored.com](http://www.meteored.com) , Autor : JUANHITO

**El nivel de riesgo de rayos se llama nivel keráunico**, se valora por el número de días de la actividad de rayos por año y  $\text{km}^2$ , estos niveles solo son de referencia pues suelen ser muy variables, algunos se mantienen durante más tiempo por las características del contexto ambiental y telúrico, la media tiene que ser valorada como mínimo cada 5 años, en griego “Keraunos” significa rayo. Se puede efectuar un seguimiento de los impactos de

rayos en diferentes mapas virtuales. Existen varios portales donde podemos ver la actividad de rayos casi en tiempo real a nivel nacional y europeo, por ejemplo en:

España: Instituto Nacional de Meteorología  
<http://www.inm.es/web/infmet/rayos/rayos.html>

Francia: Météorage, del grupo Météo France  
<http://www.meteorage.fr>

Catalunya: Meteocat  
[www.meteocat.net/marcs/marcs\\_observacio/marcs\\_llamps.htm](http://www.meteocat.net/marcs/marcs_observacio/marcs_llamps.htm)

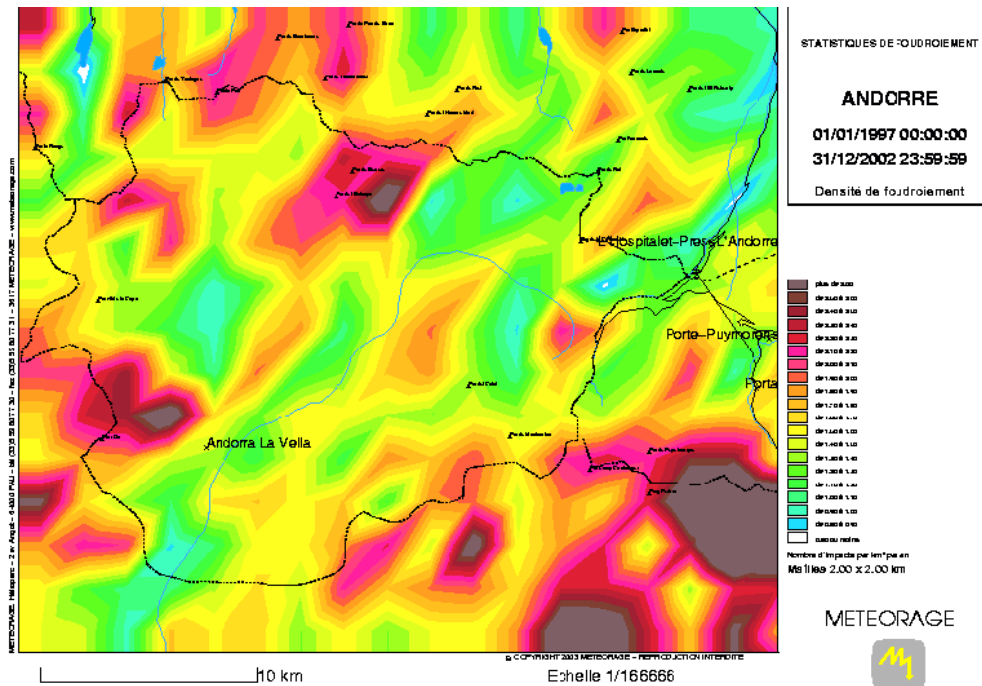


FIGURA 5 Mapa Keráunico Principado de Andorra

**Las líneas Isoceráunicas** son indicadores de medición de un área concreta que determina diferentes zonas de riesgo.

**Las temporadas de tormentas son cada vez más grandes** y activas , el gráfico representa la evolución de los días de tormenta e impactos de rayos en un periodo de 6 años en la zona geográfica de las Pardines ( 1.503 metros sobre el nivel de mar ) en el Principado de Andorra. (3, Ver referencias).

Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Total
Mes								mes
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	1	0	2
5	3	0	1	1	1	0	4	10
6	0	1	13	1	0	8	5	28
7	0	4	1	1	11	13	13	43
8	7	11	3	2	1	22	5	51
9	2	4	1	1	0	8	15	31
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	1
<b>Total / año</b>	13	20	20	6	13	52	42	166

**FIGURA 6 Impactos de rayos en una zona de 2 km<sup>2</sup> del Principado de Andorra**

**Las tormentas generan** peligrosas cargas eléctricas por kilómetro cuadrado dentro de los núcleos de nubes tormentosas, sobre todo en alta montaña con climas predominantemente secos ( =< 32 % HR ). La diferencia de potencial entre la base de la nube y tierra aumenta progresivamente ionizando el aire en el gran espacio tiempo, los valores de referencia son del orden de cien millones de voltios y el valor del campo electroestático en tierra es de 10 kV por cada metro de elevación sobre la superficie de la tierra. La compensación de la carga electroestática se transfiere de dos maneras. Una es pacíficamente por el flujo de electrones en una gran área geográfica ( Km<sup>2</sup>) y en un largo periodo de tiempo (minutos) sin visualizar la descarga del rayo a tierra. La otra es debido a la gran concentración de transferencia de electrones en un corto espacio tiempo, metros<sup>2</sup> / segundos.

En las zonas de alto nivel keráunico la transferencia de esta energía se representa en forma de rayo con impactos a tierra para compensar al campo eléctrico de alta tensión que se ha generado.

## **Sus efectos.**

**El cuerpo humano es una máquina bioeléctrica**, polarizada eléctricamente y toda la actividad electromagnética del entorno nos afecta. Cada impacto de rayo genera una radiación o pulso electromagnético peligroso para las personas.

Los campos electromagnéticos artificiales perturban el magnetismo natural terrestre y el cuerpo humano sufre cambios de sus ritmos biológicos normales pudiendo sucumbir a diferentes enfermedades.

Estos fenómenos están en estudio, pues pueden afectar la membrana celular a partir de una gran exposición en corto tiempo; en función de la radiación absorbida nuestro sistema nervioso y cardiovascular pueden estar afectados.

Hoy en día está comprobado que las corrientes eléctricas de baja frecuencia con densidades superiores a 10 mA/m<sup>2</sup> afectan al ser humano, no solo al sistema nervioso sino también pueden producir extrasístoles.

Toda radiación superior a 0.4W/kg no podrá ser adsorbida correctamente por el cuerpo. El aumento repentino de 1 grado en el cuerpo puede producir efectos biológicos adversos, éste fenómeno puede ser representado por radiaciones de gigaherzios o microondas. (4. ver referencias).

La información siguiente es un extracto del de la Tesis doctoral en Medicina del Doctor Gauman Laurent, " Los accidentes por fulminación ", en francés " Les accidents de la fulguration". ( 5. ver referencias ).

**Los impactos de rayo directos** son destructores y mortales



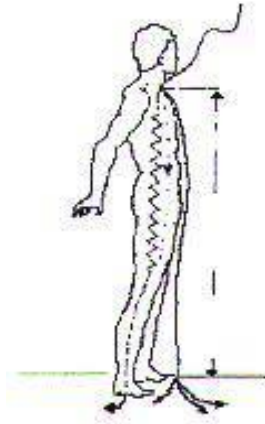


FIGURA 7 Muerte por impacto directo.

Cuando el rayo impacta en un punto, genera varios efectos debido a la desproporcionada y devastadora energía transferida. Los fenómenos repercutidos serán de diferente gravedad en función de la intensidad de la descarga.

**Fenómenos repercutidos:**

1. Ópticos.
2. Acústicos.
3. Electroquímicos.
4. Térmicos.
5. Electrodinámicos.
6. Electromagnéticos.

**Los impactos de rayos indirectos son muy peligrosos,** generan fuertes tensiones de paso.

La distancia y potencial de la descarga generará diferentes efectos que afectará directamente al cuerpo humano.

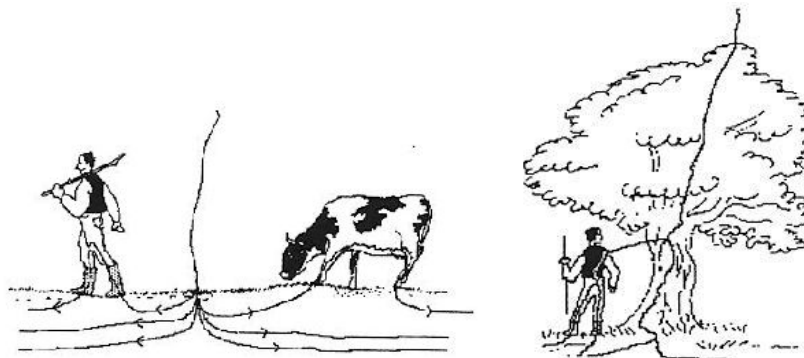


FIGURA 8 tensión de paso por impacto indirecto.

Resumimos los diferentes efectos físicos que pueden ocasionar a las personas, si nos encontramos dentro de un radio de acción inferior a 120 metros del impacto-

### **Efectos físicos:**

1. Quemaduras en la piel.
2. Rotura del tímpano.
3. Lesiones en la retina.
4. Caída al suelo por onda expansiva.
5. Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
6. Lesiones pulmonares y lesiones óseas.
7. Estrés pos-traumático.
8. Muerte por:
  - a. Paro cardíaco.
  - b. Paro respiratorio.
  - c. Lesiones cerebrales.

Extracto de la Tesis doctoral en Medicina del Doctor Cauman Laurent..

### **Repercusiones eléctricas :**

**El potencial y la cantidad de descargas de los rayos son aleatorios** en todo el planeta, pero cada vez, se aprecia una tendencia al incremento debido a los diferentes cambios climáticos. Las erupciones solares son alguna de las causantes del aumento de la saturación de la carga en la atmósfera ( 6. ver referencia)

Durante las tormentas solares nuestro planeta está golpeado implacablemente por radiaciones ultravioletas, rayos X y torrentes de partículas cargadas, lo cual distorsiona el campo magnético e induce poderosas corrientes eléctricas a la atmósfera, se espera una máxima actividad solar para el año 2012. ( 7.ver referencia ).

**Durante la descarga del rayo** se generan inducciones y acoplamientos en líneas de transporte eléctrico y de comunicaciones, todos los equipos electrónicos sensibles que se encuentre dentro de un radio de acción de 120 metros pueden estar afectados por una sobre tensión inducida. **En función de la intensidad de descarga del rayo** las tomas de tierra no llegan a adsorber la totalidad de la energía potencial descargada en menos de 1 segundo, generando retornos eléctricos por la toma de tierra al interior de la instalación eléctrica. Este fenómeno puede generar tensiones de paso peligrosas si las instalaciones no están preparadas al efecto.

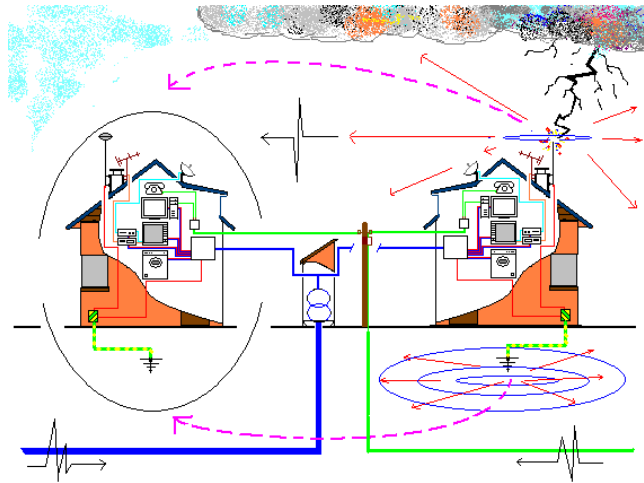


FIGURA 9 tensión de paso por impacto indirecto.

Se tiene que tener en consideración que todos los materiales o puntos de contacto a tierra tiene diferente valores de comportamiento eléctrico, su propia resistencia eléctrica puede variar considerablemente en función de las condiciones medioambientales y su composición mineral ( valores  $\leq$  a  $5 \Omega$ , a valores  $\Rightarrow$   $3000 \Omega$  ). Los valores mínimos registrados en el momento de una descarga es de decenas de kA a valores máximos registrados de 300 kA en un solo impacto.

**El impacto de rayos** genera sobre los cables aéreos una onda de corriente, de amplitud fuerte, que se propaga sobre la red creando una sobre tensión de alta energía.

**Por ejemplo, si aplicamos la Ley de Ohm**, y tomando un valor medio del impacto de un rayo a tierra de 30 kA ( 30.000 Amperios) y un valor de la resistencia de la toma de tierra de  $10 \Omega$  ( ohmios), entonces se tiene unos resultados de energía que circulará por el cable de tierra a la toma de tierra física de 300.000 Voltios ( Alta Tensión ) y 9.000.000 kW ( Alta Energía de radiación).

**Las consecuencias:** Destrucción de material, envejecimiento prematuro de los componentes electrónicos sensibles, disfunción de los equipos conectados a la res con peligro de incendio.

**Ponemos a continuación algunos valores de referencia del fenómeno rayo:**

1. Tensión entre nube y un objeto a tierra.....1. a 1.000. kV.
2. Intensidades de descarga .....5 a 300 KA
3.  $di/dt$ .....7.5kA/s a 500kA/s
4. Frecuencia.....1 K Hz a 1 M Hz.
5. Tiempo.....10 Microsegundos a 100. Milisegundos.

6. Temperatura superior a.....27.000 grados Centígrados.
7. Propagación .....340 metros por segundo.
8. Campo electrostático por metro de elevación sobre la superficie de la tierra.....10 kV.

**Los rayos causan muchas muerte en el mundo, solo en Brasil mueren** cien personas por año . es uno de los país más afectados por la muerte directa de personas causada por los rayos, según investigadores brasileños equivale al 10 por ciento del total mundial. ( 8, ver referencias )

### **Algunas estadísticas de daños en Francia causados por el rayo.**

Hemos tomados los datos del portal de Météorage que a continuación citamos:

[http://www.meteorage.fr/meteorage.fr/foudre\\_phenomene\\_physique6.html](http://www.meteorage.fr/meteorage.fr/foudre_phenomene_physique6.html)

1. Una media de 1.000.000 de impactos de rayo por año .
2. El coste anual de los daños causados por el rayo **se cifra en millones de Euros.**
3. Mueren cada vez más personas, entre 8 y 15 muertos por año.
4. Más de 20.000 animales muertos.
5. 20.000 siniestros causados por rayos de los cuales 15.000 ocasionaron incendios.
6. 50.000 contadores eléctricos destruidos.
7. 250 campanarios afectados.

## **Diferentes sistemas de protección del rayo**

### **Introducción**

En 1747 B. Franklin inició sus experimentos sobre la electricidad. Adelantó una posible teoría de la botella de Leyden, defendió la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico y propuso un método efectivo para demostrarlo. Su teoría se publicó en Londres y se ensayó en Inglaterra y Francia antes incluso de que él mismo ejecutara su famoso experimento con una cometa en 1752. Inventó el pararrayos y presentó la llamada teoría del fluido único para explicar los dos tipos de electricidad atmosférica, la positiva y negativa. Desde entonces el **Pararrayos a evolucionado con diferentes tecnologías, unos,** manteniendo el principio de **ionización por efecto punta** a partir de un campo eléctrico natural.

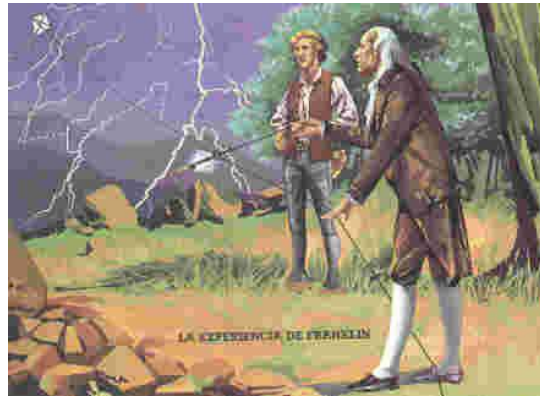


FIGURA 10 experimento de Franklin

todos los pararrayos que acaban en una o varias puntas tienen como principio la excitación y captación del rayo. En mayor o menor grado generan efectos secundarios de contaminación electrostática y electromagnética que afectan con la posible destrucción a las instalaciones eléctricas y equipos, por ese motivo los fabricantes de pararrayos recomiendan protecciones suplementarias en las instalaciones internas para minimizar los efectos de la subida de tensión temporal (sobre tensión) en los equipos eléctricos, de telecomunicaciones, audiovisual y cualquier otro que contengan electrónica sensibles, durante la descarga del rayo en el pararrayos.

Durante la evolución industrial, no existían tecnologías electrónicas tan sensibles como las actuales, si miramos a nuestro alrededor, pocos son los equipos eléctricos o electromecánicos que no llevan incorporado un sistema electrónico de control para facilitarnos los procesos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, todos ellos incorporan componentes electrónicos cada vez mas reducidos y sensibles a las variaciones de tensión y frecuencia. Es evidente que les afecta la contaminación eléctrico ambiental y dependen de la continuidad y calidad en el suministro eléctrico o en la comunicación de la información, por ese motivo se tiene que evitar en lo posible las fuentes que generan perturbaciones electromagnéticas, como por ejemplo los impactos de rayos cercanos o las instalaciones de pararrayos Franklin tipo punta o PDC ( pararrayos con Dispositivo de Cebado ) que excitan y atraen la descarga del rayo dentro de los núcleos industriales o urbanos. **Otros** utilizan el campo eléctrico atmosférico durante la tormenta para transferir la carga del sistema pacíficamente sin producir descarga ( CTS, Charge Transfer System ).

### **Algunas de las normativas de pararrayos**

**Las normas** actuales relacionadas con las instalaciones reglamentarias de pararrayos, pretenden como objetivo de la protección del rayo, salvaguardar la vida de las personas y animales junto a sus propiedades y remarcan que en mayor o menor grado, aceptan que no existe una protección absoluta contra el fenómeno de las tormentas eléctricas, sino sólo una protección adecuada. ( 9. ver referencia )

Las normativas dejan abierta la posibilidad de aplicar otros sistemas de protección, donde la necesidad de soluciones para la protección del rayo sea particularmente más exigente.

### **Ensayos de pararrayos en laboratorio.**

Los ensayos experimentales en un laboratorio técnico de alta tensión, solo se tendrían que utilizar a nivel técnico comparativo como referencia para que el fabricante pudiera comprobar la efectividad técnica del cabezal aéreo (capta-rayos o pararrayos) que se lleva a ensayo.

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



FIGURA 11 Laboratorio de ensayos eléctricos.

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

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

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

### **Resumimos algunos de los principios de funcionamiento de algunos Atrae-rayos y Parar-rayos**

Si deseamos captar el rayo ( **Atrae-rayo** ) pondremos atención en algunos tipos de pararrayos tipo Franklin o PDC ( Pararrayos con dispositivo de Cebado ) que basan su principio de funcionamiento en la ionización pasiva o activa del aire para excitar la carga, y crear un camino abierto para capturar la descarga del rayo y canalizar su energía potencial por un cable a la toma de tierra eléctrica.

#### **A. Los pararrayos ionizantes.**

Pararrayos que ionizan el aire y capta la descarga del rayo ( **Atrae-rayos**):

- Se destacan por ser electrodos acabados en una o varias puntas.
- Están instalados en la parte más alta de la instalación y conectados a tierra. Se dividen en:
  - Ionizantes pasivos (A-1, ver más adelante)
  - Semi-Activos (A-2, ver más adelante).
- Durante la descarga del rayo se generan corrientes de Alta Tensión por el conductor eléctrico de tierra superiores , siendo peligroso estas cerca del pararrayos en ese momento.
- 



FIGURA 12 Atrae-Rayos.

Si de lo contrario deseamos parar el rayo ( **Parar-rayos** ) en un perímetro de seguridad del cual queremos proteger las instalaciones, nos decidiremos por la nueva tecnologías de **pararrayos CTS** ( Charge Transfer System ), en español Sistema de Transferencia de Carga. Basan su principio en la desionización, el objetivo es evitar la saturación de carga

electroestática en la atmósfera, concretamente compensar pacíficamente la diferencia de potencial de la zona durante el proceso de la formación de la tormenta. Con este principio se evita el campo de alta tensión que genera la formación de efluvios y la excitación de la presencia del rayo. El resultado es una zona eléctricamente estable sin influencias de caídas de rayos.

## **B. Los pararrayos desionizantes pasivos .**

Pararrayos que desionizan el aire y para la formación del rayo ( **parar-rayos**):

- Se destacan por ser de forma esférica.
- Están instalados en la parte más alta de la instalación y conectados a tierra.
- Durante el proceso de la carga electroestática del fenómeno del rayo, la transferencia de su energía a tierra, se transforma en una corriente de fuga a tierra, su valor eléctrico se puede registrar con una pinza amperimétrica de fuga a tierra, el valor máximo de lectura en plena tormenta no supera los 250 Mili-Amperios y es proporcional a la carga eléctrico-Atmosférica.



FIGURA 13, pararrayos CTS.

**Nota:** .Todos los sistemas de pararrayos para la protección del rayo, se instalan según unas normativas particulares y se resumen en 3 elementos básicos:

1. La toma de tierra con una resistencia inferior a  $10 \Omega$
2. El mástil y cable conductor que conecta la tierra con el cabezal aéreo.
3. El pararrayos (Cabezal aéreo).

**A-1. Pararrayos ionizantes pasivos (PSF) Puntas simple Franklin ( Atrae-rayos simple ):**



Analicemos algunos principios básicos.

**1. Características básicas.** Son electrodos de acero o de materiales similares acabados en una o varias puntas, denominados Punta simple Franklin, no tienen ningún dispositivo electrónico ni fuente radioactiva. Su medida varía en función del modelo de cada fabricante, algunos fabricantes colocan un sistema metálico cerca de la punta para generar un efecto de condensador.

**2. Su principio de funcionamiento.** Se basa esencialmente en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial entre la nube y el cabezal del pararrayos, la instalación conduce primero hacia arriba, por el cable desnudo de tierra, la tensión eléctrica generada por la tormenta, para compensar la diferencia de potencial en el punto más alto de la instalación. Durante el proceso de la tormenta se generan campos eléctricos de alta tensión que se concentran en las puntas más predominantes, a partir de una magnitud del campo eléctrico alrededor de la punta o electrodo, aparece la ionización natural o efecto corona, son mini descargas disruptivas que ionizan el aire, este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor que facilitara la descarga del fenómeno rayo (Lider).

En función de la transferencia o intercambio de cargas, se puede apreciar en la PSF, chispas diminutas en forma de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos. Este fenómeno arranca una serie de avalancha electrónica por el efecto campo, un electrón ioniza un átomo produciendo un segundo electrón, éste a su vez junto con el electrón original puede ionizar otros átomos produciendo así una avalancha que aumenta exponencialmente. Las colisiones no resultantes en un nuevo electrón provocan una excitación que deriva en el fenómeno luminoso. A partir de ese momento, el aire cambia de características gaseosas al límite de su ruptura dieléctrica, el rayo es el resultado de la saturación de cargas entre nube y tierra, se encarga de transferir en un instante, parte de la energía acumulada; el proceso puede repetirse varias veces.

**3. El objetivo de estos atrae-rayos** es proteger las instalaciones del impacto directo del rayo, excitando su carga y capturando su impacto para conducir su potencial de alta tensión a la toma de tierra eléctrica. (Las instalaciones de pararrayos están reguladas por normativas de baja tensión).

Se han dado casos que la punta del PSF, el efecto térmico a fundido varios centímetros de acero de la punta Franklin.

## **A-2. Pararrayos ionizantes Semi-activos ( PDC) pararrayos con dispositivo de cebado (atraer-rayos):**

**1. Características básicas.** Están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta, incorporan un sistema electrónico que genera un avance en el cebado del trazador ( Líder ); No incorporan ninguna fuente radioactiva, tienen un dispositivo electrónico sensible compuesta de diodos, bobinas, resistencias y condensadores, inundados en una resina aislante, todo ello blindado; otros incorporan un sistema piezoeléctrico. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo una vez que se produce la carga del dispositivo de excitación. Las medidas de los cabezales varían en función del modelo de cada fabricante.

**2. Principio de funcionamiento.** Se basa esencialmente en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial entre la nube y el cabezal del pararrayos. La instalación conduce primero hacia arriba por el cable desnudo de tierra, la tensión eléctrica generada por la tormenta, al punto más alto de la instalación para compensar la diferencia de potencial. El sistema electrónico aprovecha la influencia eléctrica del aumento de potencial entre la nube y la tierra, para auto alimentar el circuito electrónico y excitar la avalancha de electrones, la excitación del rayo se efectúa ionizando el aire por impulsos repetitivos, según aumente gradualmente la diferencia de potencial aportada por la saturación de cargas eléctrico-atmosféricas aparece la ionización natural o efecto corona, son mini descargas periódicas que ionizan el aire , este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor intermitente que facilitara la descarga del fenómeno rayo( Líder ).

Durante el proceso de la tormenta se generan campos de alta tensión que se concentran en las puntas mas predominantes, a partir de una magnitud del campo eléctrico alrededor de la punta o electrodo, aparece la ionización por impulsos, son pequeños flujos eléctricos, se puede apreciar en forma de diminutas chispas de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos. Este fenómeno arranca una serie de avalancha electrónica por el efecto campo, un electrón ioniza un átomo produciendo un segundo electrón, éste a su vez junto con el electrón original puede ionizar otros átomos produciendo así una avalancha que aumenta exponencialmente. Las colisiones no resultantes en un nuevo electrón provocan una excitación que deriva en el fenómeno luminoso. A partir de ese momento el aire cambia de características gaseosas al límite de su ruptura dieléctrica, el rayo es el resultado de la saturación de cargas entre nube y tierra, se encarga de transferir en un instante, parte de la energía acumulada en el condensador atmosférico( nube-tierra ); el proceso puede repetirse varias veces.

El dispositivo electrónico del PDC está conectado en serie entre el soporte del cabezal y el cabezal aéreo

**3. El objetivo de estos atrae-rayos** es proteger las instalaciones del impacto directo del rayo, excitando su carga y capturando su impacto para conducir su potencial de alta tensión a la toma de tierra eléctrica.

Estos equipos se caracterizan por incorporar un sistema de cebado que anticipan la descarga de 25 a 68  $\mu$ s, micro-segundos. (Las instalaciones de pararrayos PDC están reguladas por normativas de baja tensión).

#### **El dispositivo de cebado de los pararrayos PDC.**

El sistema de cebado necesita un tiempo de carga para activar el dispositivo electrónico que generara un impulso, a continuación volverá a efectuar el mismo proceso mientras exista el aporte de energía natural, este tiempo de carga del dispositivo electrónico no se contabiliza en los ensayos de laboratorio de alta tensión de un PDC.

En el campo de aplicación, el dispositivo electrónico instalado en la punta del PDC, necesita un tiempo de trabajo para la carga del sistema de cebado; Durante ese proceso, el efecto de ionización se retrasa en la punta del PDC referente a los sistemas convencionales de pararrayos Franklin.

El dispositivo de cebado está construido con componentes electrónicos sensibles a los campos electromagnéticos, está instalado en el cabezal aéreo ( PDC) dentro de la influencia de los efectos térmicos, electrodinámicos y electromagnéticos del rayo. En fusión de la intensidad de descarga del rayo la destrucción del dispositivo electrónico es radical, a partir de ese momento la eficacia del PDC no esta garantizada y la instalación de protección queda fuera de servicio.

Algunos fabricantes aconsejan la revisión del circuito electrónico del pararrayos cada vez que recibe un impacto.

**Pararrayos desionizantes pasivos, tecnología CTS, Charge Transfer System , (pararrayos).**

**1. Características básicas.** Los Pararrayos Desionizadores de Carga Electroestática (PDCE), incorporan un sistema de transferencia de carga ( CTS ), no incorporan ninguna fuente radioactiva. Se caracteriza por transferir la carga electroestática antes de la formación del rayo anulando el fenómeno de ionización o efecto corona. El cabezal del pararrayos está constituido por dos electrodos de aluminio separados por un aislante dieléctrico todo ello soportado por un pequeño mástil de acero inoxidable. Su forma es esférica y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electroestática a tierra evitando la excitación e impacto directo del rayo.

**2. Su principio de funcionamiento.** Se basa esencialmente en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial entre la nube y el cabezal del pararrayos, la instalación conduce primero hacia arriba, por el cable desnudo de tierra; la tensión eléctrica generada por la tormenta eléctrica al punto más alto de la instalación, durante el proceso de la tormenta se genera campos de alta tensión que se concentran en el electrodo inferior (cátodo -) , a partir de una magnitud del campo eléctrico, el electrodo superior (ánodo +) atrae cargas opuestas para compensar la diferencia de potencial interna del cabezal , durante el proceso de transferencia, en el interior del pararrayos se produce un flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo, este proceso natural anula el efecto corona en el exterior del pararrayos, no produciendo descargas disruptivas, ni ruido audible a frito, ni radiofrecuencia, ni vibraciones del conductor. Durante el proceso, se produce una fuga de corriente a tierra por el cable conductor eléctrico, los valores máximos que se pueden registrar durante el proceso de máxima actividad de la tormenta , no superan los 300 miliamperios. A partir de ese momento el campo eléctrico ambiental no supera la tensión de ruptura al no tener la carga suficiente para romper su resistencia eléctrica.

**3. El objetivo** es evitar el impacto directo en la zona de protección para proteger a las personas , animales e instalaciones, el conjunto de la instalación se diseña para canalizar la energía del proceso anterior a la formación del rayo desde el cabezal aéreo hasta la toma de tierra. ( las instalaciones de la puesta a tierra y cables del pararrayos están reguladas según las normativas de baja tensión)

**4. Las instalaciones de pararrayos con tecnología CTS cubre unas necesidades más exigentes de protección,** donde los sistemas convencionales de captación del rayo acabados en punta no son suficientes.

## Conclusiones

**Las nuevas tecnologías de protección del rayo** se convierten en una necesidad evidente para la protección de las personas, animales e instalaciones: comunicación, audiovisual, maquinaria etc.

Los sectores más afectados por el fenómeno rayo, tienen a su alcance las soluciones definitivas. Las nuevas tecnologías para el diseño de Sistema de protección mas eficaz del rayo, cumple con el objetivo para los que han sido diseñadas: **proteger del impacto del rayo evitando su caída en la zona de protección.**

De lo analizado hasta ahora podemos concluir que:

1. Se prevé que el cambio climático genere temporadas de tormentas cada vez más largas con grandes potenciales energéticos que repercuten en una tendencia hacia una mayor actividad eléctrico-Atmosférica, en general, y de rayos, en particular.
2. Los impactos de rayos son aleatorios y su trayectoria es caótica con un potencial de descarga muy destructivo.
3. Las nuevas tecnologías electrónicas de comunicaciones, simplifican la gestión o información para el usuario pero aumentan la necesidad propia de una protección más eficaz.
4. Evitar la caída del rayo es una necesidad evidente. Cada vez hay una mayor cantidad de actividades humanas donde el impacto o presencia de rayos es notoria y sensible.
5. Los pararrayos tipo Franklin excitan y atraen las descargas de rayos (Atrae-rayos), generando fenómenos de repercusión eléctrica, a veces, peligrosos para los componentes electrónicos sensibles.
6. Los pararrayos PDC excitan y atraen las descargas (Atrae-rayos), se caracterizan primordialmente por su sistema electrónico de cebado incorporado en el cabezal del pararrayos, este sistema consigue en un laboratorio de alta tensión adelantarse a la captación de la descarga en un tiempo más corto (microsegundos), referente a la descarga de un pararrayos en punta tipo Franklin, pero en el campo de aplicación tienen un retraso de microsegundos para efectuar el trabajo de carga del dispositivo electrónico.

Algunos fabricantes de pararrayos PDC, aconsejan la revisión del cabezal cada vez que un rayo impacta en ellos, para verificar la eficacia de su sistema electrónico de cebado que lleva incorporado y cambiarlo si fuera necesario. El motivo es la posible destrucción del sistema electrónico de cebado producido por los efectos: térmicos, electrodinámicos y electromagnéticos del rayo durante el impacto.

7. Los certificados de laboratorios de alta tensión que avalan la eficacia del sistema PDC tendrían que ser solo utilizados, como documentos de referencia técnica del fabricante, no como aplicación en las instalaciones ya que la norma no garantiza una protección absoluta con estos sistemas de pararrayos y los ensayos no contemplan toda la instalación de protección.
8. Todos los sistemas de protección acabados en una o varias puntas que tienen como principio excitar y atraer el rayo, sean pasivos o activos, ionizan el aire generando chispas peligrosas y descargas de alta tensión, las instalaciones de protección externa del rayo están reguladas por normativas de baja tensión; Estos sistemas tendrían que ser utilizados fuera de las zonas de riesgo de explosiones, zonas urbanas o industriales. Su campo de aplicación sería ideal para garantizar zonas de captación de rayos, como por ejemplo los bosques, así se evitarían un gran número de incendios .
9. En las zonas urbanas e industriales tienen que ser protegidas con sistemas de pararrayos desionizadores de carga electrostática ( para-rayos ), donde la transferencia de carga electrostática será compensada pacíficamente en el tiempo real y no se representará la descarga visual del rayo ni sus fenómenos repercutidos de acoplamientos o inducciones.
10. La eficacia de un sistema, se demuestra cumpliendo en el espacio tiempo el objetivo para lo cual ha sido diseñado, la aplicación en el campo de trabajo avalará su funcionamiento.

La gran pregunta que nos seguimos haciendo:

¿Por qué seguir instalando atrae-rayos ionizantes que atraen la descarga del rayo a una zona que queremos proteger?.

¿No sería mejor instalar los para-rayos desionizantes para eliminar la en nuestra zona de protección?

**Información, noticias y actualizaciones** de cómo efectuar una instalación de pararrayos que evita la caída del rayo y las repercusiones de su fenómeno, referencias de instalaciones efectuadas. [www.rayos.info](http://www.rayos.info)

## **Referencias bibliográficas**

(1) Cambio climático.

[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/vol4/spanish/010.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/010.htm)

(2) El sentido de la descarga del rayo

[http://www.cofis.es/pdf/fys/fys12\\_04.pdf](http://www.cofis.es/pdf/fys/fys12_04.pdf).

(3) Estudio keraunico en una zona del Principado de Andorra.

[http://www.rayos.info/estudio\\_rayo.htm](http://www.rayos.info/estudio_rayo.htm)

Gráficos de máxima y mínima temperatura , lluvia y nieve en el Principado de Andorra.

[www.rayos.info](http://www.rayos.info)

(4) Exposición a campos electromagnéticos: características y restricciones para evitar perjuicios a la salud <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/campose.asp>

(5) Tesis doctoral en Medicina Doctor Cauman Laurent, " Los accidentes por fulminación ", en francés " Les accidents de la fulguration".  
[http://www.rayos.info/pagina\\_nueva\\_4.htm](http://www.rayos.info/pagina_nueva_4.htm)

(6) Las erupciones solares son alguna de las causantes del aumento de la saturación de la carga en la atmósfera.

<http://www.elmundo.es/elmundo/2002/05/10/ciencia/1020994850.html> .

(7) Se espera una máxima actividad solar para el año 2012.

[http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2001/ast15feb\\_1.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2001/ast15feb_1.htm) .

(8) solo en Brasil mueren cien personas por año.

<http://www.terra.com.uy/canales/ciencias/25/25657.html>

(9) Informe normativas de pararrayos ESE, PDC o PDA y nuevas directrices de investigación CT

<http://www.iie.org.mx/2001e/apli.pdf> .

Redes de vigilancia de parámetros meteorológicos.

[http://www.cofis.es/pdf/fys/fys12\\_04.pdf](http://www.cofis.es/pdf/fys/fys12_04.pdf)

## **El choque del viento solar con la atmósfera altera las redes de comunicación en la Tierra.**

[http://ciencia.msfc.nasa.gov/headlines/y2003/22apr\\_currentsheet.htm](http://ciencia.msfc.nasa.gov/headlines/y2003/22apr_currentsheet.htm)

Información complementaria y fotos de meteorología.

[www.meteored.com](http://www.meteored.com)

Mapa dinámico de las últimas 24 horas sobre la evolución de los impactos de rayos de toda Europa [Météorage](#).

Mapa estático de las últimas 24 horas que representa las zonas afectadas por rayos con intensidades y polaridad, predicciones, satélite, todo relacionado con la información meteorológica [Instituto Nacional de Meteorología Español](#).

Modelos Conceptuales: Rayos (MCM2) Olinda Carretro Porris Francisco Martín León Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción <http://www.met.ed.ac.uk/calmet/conferences/calmet01/cd/vazquez/tor/tor.htm>

Diferentes modelos de pararrayos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura – Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física. <http://www.fceja.unr.edu.ar/~fisica3/Tormentas.pdf>

Los efectos secundarios derivados de la actividad eléctrica atmosférica Roy B. Carpenter, Jr. y Dr. Yinggang Tu.

<http://www.lecmex.com/4.html>

---

INT AR S.L. C/Dells Escals nº 9 301-Escaldes-Engordany, Principat d'Andorra.

Web. [www.rayos.info](http://www.rayos.info) - [www.int-sl.ad](http://www.int-sl.ad) ( Catalan, Frances y Español ).



**RAYOS NO GRACIAS**

Aportado por: Angel Rodríguez (Andorra) - [andorra@int-sl.ad](mailto:andorra@int-sl.ad)