



Por Angel Rodríguez Montes
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 humanas sensibles a la actividad eléctrica, etc., y terminaremos con los sistemas de protección de los que disponemos actualmente.

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 intensidad eléctrica (1, Ver referencias).

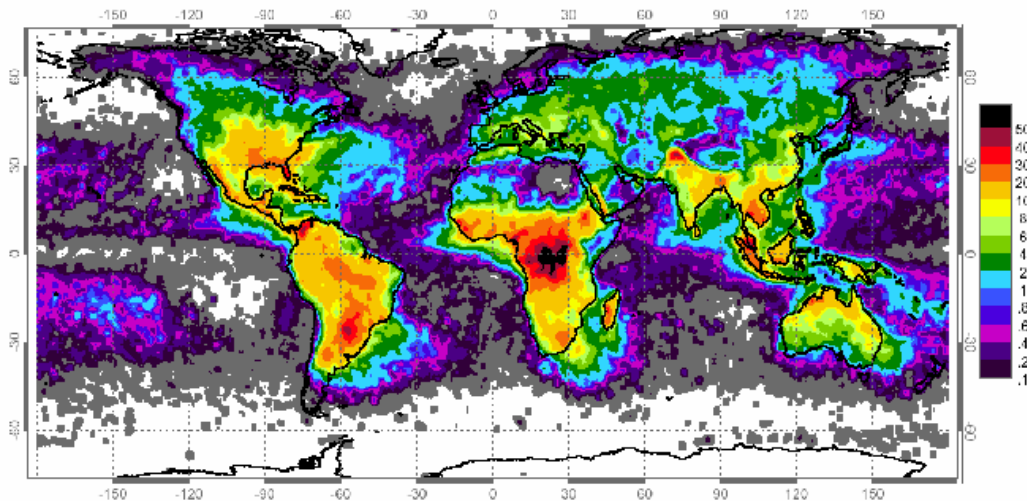


FIGURA2, mapa Keráunico mundial.

Diariamente en el mundo se producían unas 44.000 tormentas y se generaban más de 8.000.000 de rayos según el sistema de detección mundial de meteorología. En la actualidad se puede confirmar un aumento progresivo a causa de la variación del clima.

Casi todas las descargas naturales de rayos se inician en el interior de las nubes y progresan en forma de árbol de diferentes ramas a tierra. Unas se compensan con cargas negativas y las otras con cargas positivas; en su trayectoria transportan corrientes eléctricas que pueden llegar como término medio de 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 y 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, nada comparado con la actividad de rayos de este año del 6 de agosto, cuando se superaron los 95.000 impactos de rayos en 24 horas, según el Servicio de teledetección de rayos del Instituto Nacional de Meteorología de España (INM)

En toda Francia, a fecha de hoy (29-11.2005) se contabilizan 990.224 impactos de rayos, según el sistema de teledetección de la empresa Météorage, filial de Météo France (www.meteorage.fr).

Los rayos, cada temporada de tormentas, causan en todo el mundo daños valorados en miles de millones de euros en la industria y numerosas muertes (<http://www.bretaniongroup.com/news.html>) . En España, entre 1941 y 1979, los rayos acabaron con la vida de más de 2.000 personas . El Instituto Nacional de Meteorología de España dispone desde 1992 de una moderna red que permite detectar los rayos que caen en todo el territorio nacional (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, la efectividad de los sistemas actuales de pararrayos y las normativas actuales que los protege.



FIGURA1 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 de la naturaleza somos nosotros, la idea de excitar y atraer la descarga brutal del rayo a una zona de protección no es la más ideal.

Algunos sistemas actuales de protección del rayo (pararrayos tipo Franklin), no están adaptados a las repercusiones del cambio climático, el aumento de la actividad eléctrica y termodinámica de la atmósfera a nivel mundial, comporta el aumento de la generación de rayos y de impactos a tierra de más intensidad, siendo los positivos los más destructivos.

Por ello, la idea de excitar y atraer la descarga del rayo con pararrayos acabados en punta, ya no tiene sentido sino que es un peligro.

En lo posible se deben adaptar nuevas tecnologías de pararrayos para la protección del rayo, hacia una política de protección donde la prioridad sea evitar en lo posible el impacto de rayo cercano y reducir así sus repercusiones eléctricas o físicas. La idea es transferir la carga eléctrica atmosférica pacíficamente a tierra sin generar la excitación del rayo, para así evitar su formación, caída o impacto directo en la zona de protección.

Nuestra obligación, es informarle de algunos temas relevantes del fenómeno rayo, así como de las actuales y nuevas tecnologías de protección del rayo (Pararrayos). Es conveniente analizar la necesidad actual de protección, para comprobar las ventajas e inconvenientes de cada tecnología de pararrayos. De este modo usted podrá decidir cual será la protección del rayo más adecuada a sus necesidades técnicas y físicas, según la tipología de su instalación.

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

El **rayo** es la reacción eléctrica causada por la saturación de cargas electroestáticas que han sido generadas y acumuladas progresivamente en la nube durante la activación del fenómeno eléctrico de una tormenta. Durante unas fracciones de segundos, la energía electroestática acumulada en la nube se convierte en una descarga de energía electromagnética (el relámpago visible y la interferencia de ruido), energía acústica (trueno) y, finalmente, calor.

El **fenómeno rayo** se representa aleatoriamente entre nube-nube, nube-tierra o tierra-nube a partir de un potencial eléctrico (10/45 kV), entre dos puntos o zonas de influencias de diferente polaridad e igual potencial, para compensar las cargas.

La **densidad de carga del rayo** es proporcional al tiempo de exposición de la saturación de carga electroestática de la zona expuesta por la nube (**sombra eléctrica**). A mayor densidad de carga de la nube, mayor inducción electroestática en tierra, y mayor probabilidad de generar un líder en las estructuras. La **diferencia de potencial** entre la nube y la tierra facilita una transferencia de cargas en las zonas afectadas en tierra, y en función de la resistencia del aire o materiales expuestos, se representa en tierra en una **sombra cargada eléctricamente**.

La **sombra eléctrica** viaja según la trayectoria de la nube, es la zona donde los impactos de rayo se pueden representar. Su frente de actuación se sitúa normalmente, por delante de la nube y en sus frentes laterales, donde predomina un fuerte intercambio de partículas cargadas desde la base de la nube al suelo y viceversa, causado por las corrientes de convección. Dentro de la influencia de la sombra eléctrica y por donde ésta viaja, se genera el efecto punta.



El **efecto punta** puede ser estático en un punto, en movimiento en el mismo punto o viajar por el suelo y estructuras en función de la dirección y velocidad de la nube, el efecto del movimiento, causa la sensación de ver una corona o múltiples efectos puntas llamado entonces "**efecto corona**", son diminutas chispas eléctricas que aparecen en la parte superior de los materiales, generalmente es de color verde-azul y con fuerte olor a ozono (ionización del aire), el efecto punta aparece siempre dentro de la sombra eléctrica.

Los marineros llaman también al efecto punta, fuego de Sant Elmo, el motivo es que el efecto punta se representaba durante la tormenta en lo más alto del mástil de madera, el movimiento constante de la nave a causa del temporal generaba un movimiento aleatorio del mástil referente al aire dentro de un campo eléctrico natural de alta tensión.

Este efecto de movimiento lateral y el desplazamiento del mástil, transformaba visualmente las chispas del efecto punta en un efecto óptico de fuego formando una corona. Cuando se visualiza este fenómeno (el campo eléctrico-Atmosférico de alta tensión supera los 1500 voltios), se puede apreciar y sentir peligrosamente

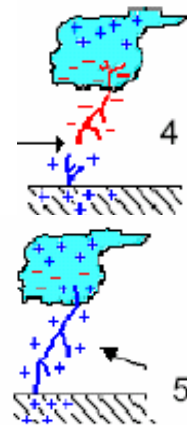
en nuestro cuerpo el campo de alta tensión. El efecto que produce en nuestro cuerpo es un cosquilleo, que nos puede poner, literalmente, los pelos de punta.

El efecto punta puede aparecer pero no transformarse en una descarga de rayo, este fenómeno avisa de la presencia de un campo eléctrico de alta tensión y si persiste en tiempo e intensidad, creará entonces un Líder o trazador.

El líder es la formación de una guía escalonada descendente (Step Leader) que guiará la descarga del rayo desde la nube cerca de la zona en tierra, donde por inducción del campo eléctrico de alta tensión, se creará otro líder ascendente desde tierra para buscar la interconexión de ambos y crear un trazado por donde se compensaran las cargas.

El rayo tiende a seguir el camino preparado previamente, **donde la concentración de transferencia de electrones** superará los 10.000 Culombios por segundos en un punto concreto, para compensar las cargas electrostáticas de signos opuestos.

Cómo se desarrolla el líder o guía escalonada: A partir del campo de alta tensión presente, un electrón ioniza un átomo produciendo un segundo electrón y éste a su vez junto con el electrón original puede ionizar otros átomos produciendo así una avalancha que aumenta exponencialmente en función de la carga (guía escalonada , figura 4)



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 (Trazador o canal ionizado, figura 5).

El fenómeno del líder, no es constante ni estable, puede viajar y moverse en función del desplazamiento de la sombra eléctrica, afectando a todo aquello que se encuentre a su paso. Nosotros nos podemos cruzar temporalmente en nuestro desplazamiento con este fenómeno, sea a pie , en coche o en barco.

La intensidad de la descarga del rayo es variable y dependerá del momento crítico de la ruptura dieléctrica del aire (resistencia variable) entre los dos puntos de transferencia de la carga así como la facilidad de transporte de la energía del medio (conductancia variable) y de la capacidad de absorción o disipación de la zona de impacto en tierra (resistencia Variable).

Como media, se utiliza erróneamente el valor de 30.000 Amperios de intensidad del rayo, pero podemos afirmar que los valores actuales de media son más altos llegando a superar los 50.000 Amperios y rayos superiores a 200.000 Amperios.

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

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

La tensión eléctrica, aparece durante el proceso de la descarga del rayo y su valor es proporcional a la resistencia de los conductores que transportan la corriente de la descarga del rayo, es decir: en función de la resistencia de los conductores eléctricos, estos se encargaran de llevar la corriente a tierra en más o menos tiempo, la corriente tendrá un freno o una aceleración a su paso a tierra (resistencia) y por ello aparecerá una tensión (Voltios) temporal como por ejemplo: La tierra, roca, madera, hierro, árbol, barco, depósito de gas, instalaciones de pararrayos, las puestas a tierra, las personas etc.

Para conocer el valor de la tensión que se puede generar en una instalación, basta con aplicar la ley de Ohm a un impacto de rayo. Por ejemplo, supongamos que el impacto de rayo se genera en el pararrayos y el INM nos proporciona su identidad, es decir, un rayo con un valor de intensidad de descarga de 200.000 amperios tomaremos este valor como valor (I), y como referencia de la resistencia tomaremos la toma de tierra del pararrayos es decir 5 ohmios (R), la tensión que apareció en el cable de tierra del pararrayos fue de: $E = I \times R$ (1.000.000 de voltios).

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.

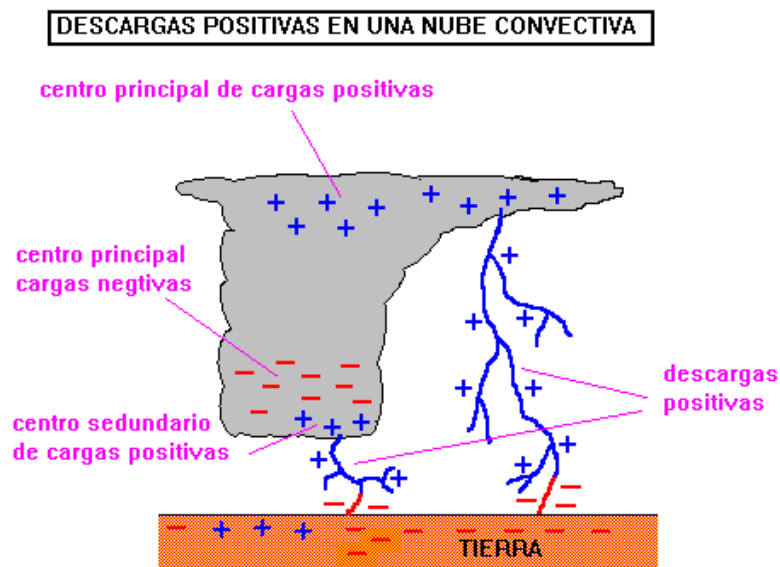


FIGURA3. Modelos Conceptuales: Rayos (MCM2)

Autores : Olinda Carretro Porris, Francisco Martín León.

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

No se puede garantizar la zona de impacto del rayo una vez formado.

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 dinámica, al formarse y generar aleatoriamente chispas en diferentes puntos geográficos dentro de la trayectoria de la sombra eléctrica, la intensidad y situación del campo eléctrico cambia radicalmente pudiendo generar impactos de rayos laterales, con trayectorias laterales de más de 17 Km. entre los dos puntos de contacto.



Figura 4, www.meteored.com , Autor : JUANHITO

Una vez formado el rayo, su impacto no depende de la resistencia eléctrica del terreno .

Los estudios de la densidad de impactos de rayos según la tipología de terreno (figura 4.1), nos determina que el rayo puede incidir en cualquier lugar del suelo independientemente de su resistencia dieléctrica. La zona de estudio de este gráfico supera los 32 km² y a 2000 metros sobre el nivel de mar en plena montaña, el periodo de estudio fue de 5 años, entre 1999 y 2004 incluidos.

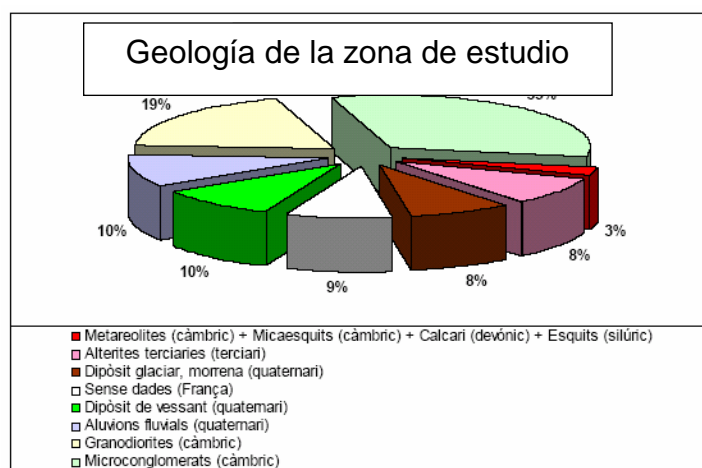


Figura 4.1 Ambiotec Estudio de densidad de rayos según geología, Andorra.

De los 473 rayos analizados, 21 impactos fueron positivos (Tierra-nube) y 452 impactos negativos (nube-tierra) es decir, un 5 % de las descargas fueron positivas.

El estudio, determina que las zonas de impactos de rayos son aleatorias, aparecen registros de impacto en las piedras, en tierra seca o húmeda, en las cumbres de las montañas, en las laderas y valles, en el suelo cerca de una torre de alta tensión. Las descargas de rayo de este estudio varían de intensidad, entre 9.000 a 171.000 Amperios y la intensidad de descarga del rayo no esta relacionada con la resistencia eléctrica del terreno en el punto de impacto ni su altura.

En la zona de estudio, podemos encontrar terrenos de diferente compuesto mineral, la resistencia dieléctrica del terreno en un mismo punto, varia enormemente según la estación del año, pasando de valores de 10 Ohmios a valores de 100 Ohmios en invierno a causa del hielo y en pleno verano a causa de la evaporación del agua.

Ejemplo de diferentes valores de la resistencia de tierra en función del terreno:

Valores medios en Ω

Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos 50
 Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes compactos y secos 500
 Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables 3.000

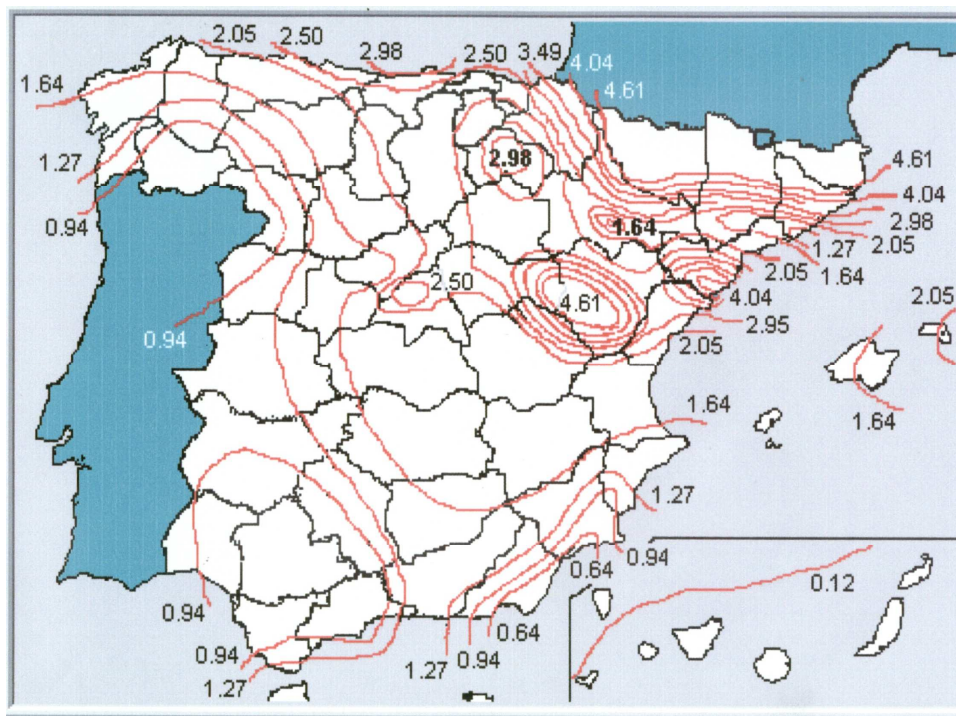
Valores de referencia en Ω de diferentes terrenos

Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda.	5 a 100
Arcilla plástica 50	
Margas y arcilla compacta	100 a 200
Margas del jurasico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena cilicea	200 a 300
Caliza compacta	1.000 a 5.000
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Pizarra	50 a 300
Granito, gres y alterados	100 a 600

El nivel de riesgo de rayos se llama nivel keráunico, y se valora por el número de días de tormentas con la actividad de al menos un rayo (tormenta / año / km²); estos niveles de riesgo sólo son de referencia, pues suelen ser muy variables, algunos niveles 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, por ese motivo utilizamos la palabra Keráunico.

Las líneas Isokeráunicas son indicadores de medición de una área concreta que determina diferentes zonas de un mapa Keráunico (ver líneas del mapa).

En el grafico siguiente, podemos ver resumido un estudio personalizado, donde por lo menos apareció 1 impacto de rayo durante cada día de tormenta, los datos proceden de una base de datos estadísticos de impactos de rayo de la empresa Météorage. El periodo de estudio fue de 5 años (1999-2005). Durante este periodo, aparecieron un total de 94 días de tormentas, siendo el año 2003 el mas activo.



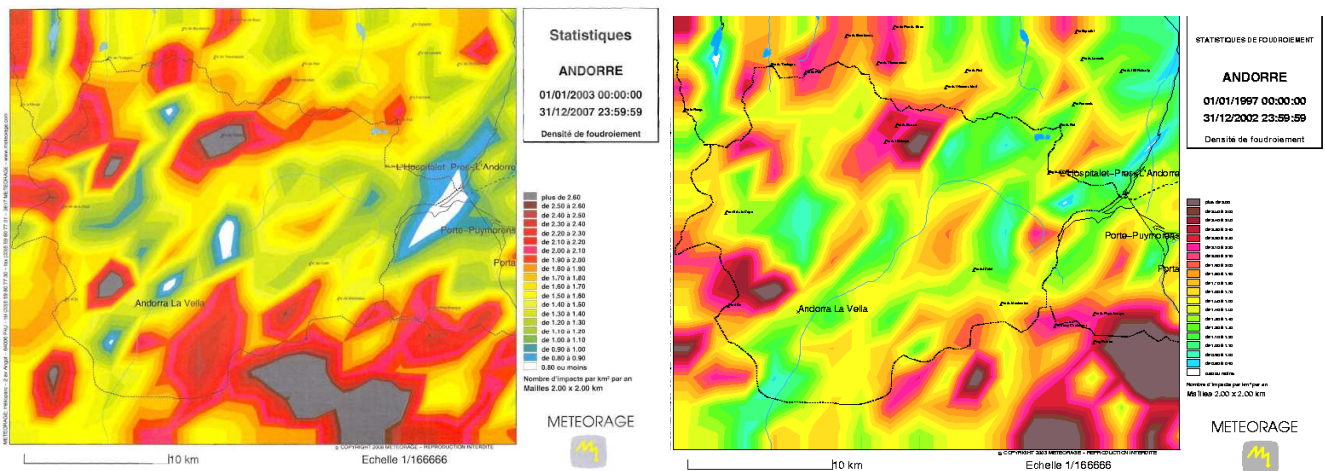
Mapa Keráunico del programa Ipwin, para el cálculo teórico de densidad de rayos.

Densidad de rayos, no se tiene que confundir el nivel de riesgo de rayos reflejado en un mapa Keráunico (días de tormenta + 1 rayo), con una zona de riesgos de rayos (densidad de rayos), el nivel Keráunico no determina si una zona geográfica tiene más o menos actividad de impactos en el suelo, para conocer el nivel de riesgo de una zona, se tiene que efectuar un estudio particular del comportamiento del rayo, analizando los datos de al menos 5 años.

Los mapas de densidades de rayos, se confeccionan a partir de los valores estadísticos de impactos de rayos que proporcionan las diferentes empresas de teledetección de rayos de cada país, los datos que han suministrado son:

- Número de impactos de rayos en un radio de 2 km.
- Fecha.
- Hora (GTM).
- Latitud y longitud.
- Intensidad en kA.
- Distancia en Km. del impacto referente a la instalación.
- Dirección del impacto referente al norte.

El mapa siguiente, define el nivel de riesgo de rayos del Principado de Andorra, los diferentes colores determinan la densidad de impactos de rayos por cada 2 km², el estudio tiene un periodo de 5 años, desde 1/1/1997 al 30/12/2002 incluidos, (imagen 1).

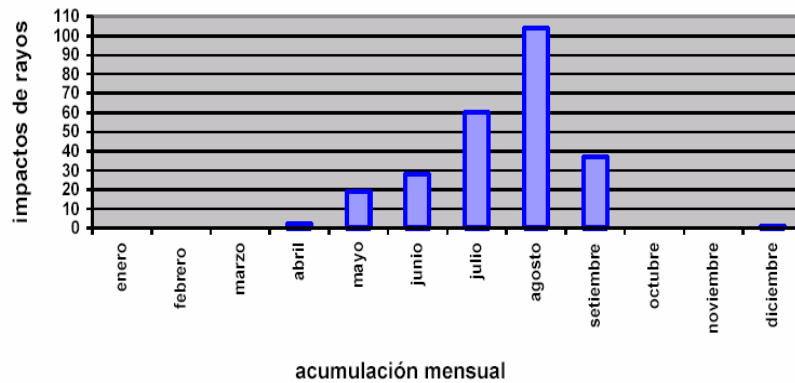


El cambio climático, modifica las temporadas de tormentas, su situación geográfica y por efecto causa la modificación de la densidad e intensidad de descargas de rayos en tierra.

A nivel técnico, los estudios de riesgo de rayos, sirven para conocer actividad real de impactos de rayos; con ellos se puede definir si la zona es de alto o bajo riesgo y relacionarla con averías eléctricas, accidentes, incendios, paro técnico de la industria o muerte a causa del rayo y poder así tomar actuaciones de prevención.

Este grafico, corresponde a una zona de estudio entre el Pas de la Casa y Soldeu del Principado de Andorra entre 1900 y 2400 metros sobre el nivel de mar, y a partir de un radio de 2 km, se analiza la actividad en tiempo real de las incidencias de rayos positivos y negativos, con un sistema de teledetección de rayos.

Mes com més activitat de rajos entre 1997 y el 2004.



Los días de tormentas varían cada año y los rayos también.

El gráfico siguiente representa la evolución de los últimos 9 años de impactos de rayos en un radio de 2 km, el estudio esta en curso y tendrá un periodo de 13 años (1997-2010), la zona de estudio esta situada en las Pardines a 1.503 metros sobre el nivel de mar en el Principado de Andorra. (3, Ver referencias).

Años	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Mes												mes
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
5	3	0	1	1	1	0	4	9	1	0	0	20
6	0	1	13	1	0	8	5	0	6	5	12	51
7	0	4	1	1	11	13	13	17	1	15	0	76
8	7	11	3	2	1	22	5	53	7	2	2	15
9	2	4	1	1	0	8	15	6	11	4	1	53
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total / año	13	20	20	6	13	52	42	85	26	26	15	318
Días de tormentas	10	9	9	6	3	16	5	8	9	10	3	88

FIGURA 6 Impactos de rayos en un radio de 2 km² de las Pardines, Principat d'Andorra

El aumento de la actividad de tormentas , está relacionado con el cambio climático, las tormentas eléctricas empiezan a aparecer fuera de sus temporadas habituales y con una actividad de rayos más intensa de lo normal, la tendencia para los próximos años es al incremento.

Actividad eléctrica anormal en la atmósfera:

El cambio climático, a día de hoy es una gran incógnita, los científicos buscan desesperadamente los parámetros que podrían determinar la evolución real de a dónde vamos y por qué. La realidad es que estamos en un cambio o más bien en un proceso natural de adaptación de la naturaleza referente a su entorno perturbado, para encontrar su equilibrio.

Lo que podemos afirmar hoy, es que esta adaptación de la naturaleza está modificando el clima, sea por la variación acelerada del campo magnético “desplazamiento del polo Norte magnético” o por la actividad frenética de las tormentas solares “Erupciones solares “. Los dos efectos, pueden repercutir en una saturación eléctrica del aire que respiramos, y acelerar caóticamente la actividad electroquímica natural de la atmósfera. La reacción, repercutiría en grandes desplazamientos de masas de átomos cargados “ aniones y cationes”.

El efecto / causa, podría repercutir en fuertes intercambios electroquímicos atmosféricos, generando vientos y cambios térmicos a causa del incremento de la ionización del aire. Las zonas de la atmósfera más afectadas por el movimiento y concentración de cargas, induciría a otras al intercambio para su compensación, incluyendo variaciones instantáneas de las temperaturas del aire de las zonas. Estos intercambios termodinámicos perturbarían las corrientes térmicas naturales, y se transformarían en grandes tormentas con alto nivel de actividad eléctrica “rayos”.

El potencial de energía del rayo durante la descargas , es aleatorio en todo el planeta, pero cada vez, se aprecia una tendencia al incremento y las erupciones solares, son alguna de las causantes del aumento de la saturación de la carga en la atmósfera (6. ver referencia).



http://science.nasa.gov/headlines/images/auroraseason/cme_and_aurora.mov

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, este fenómeno se representa en tormentas eléctricas y mucha actividad de rayos positivos (tormentas secas) y en peligrosas auroras, como la del 20 de noviembre del 2003, una pequeña explosión solar provocó la aparición de auroras en lugares inesperados.



Auroras sobre Huntsville, Alabama,
el 20 de Nov. de 2003. Crédito: científico de la NASA [Joe Minow](#).

Según informes de la NASA, se espera una máxima actividad solar para el año 2012. (7.ver referencia).

Teledetección de rayos.

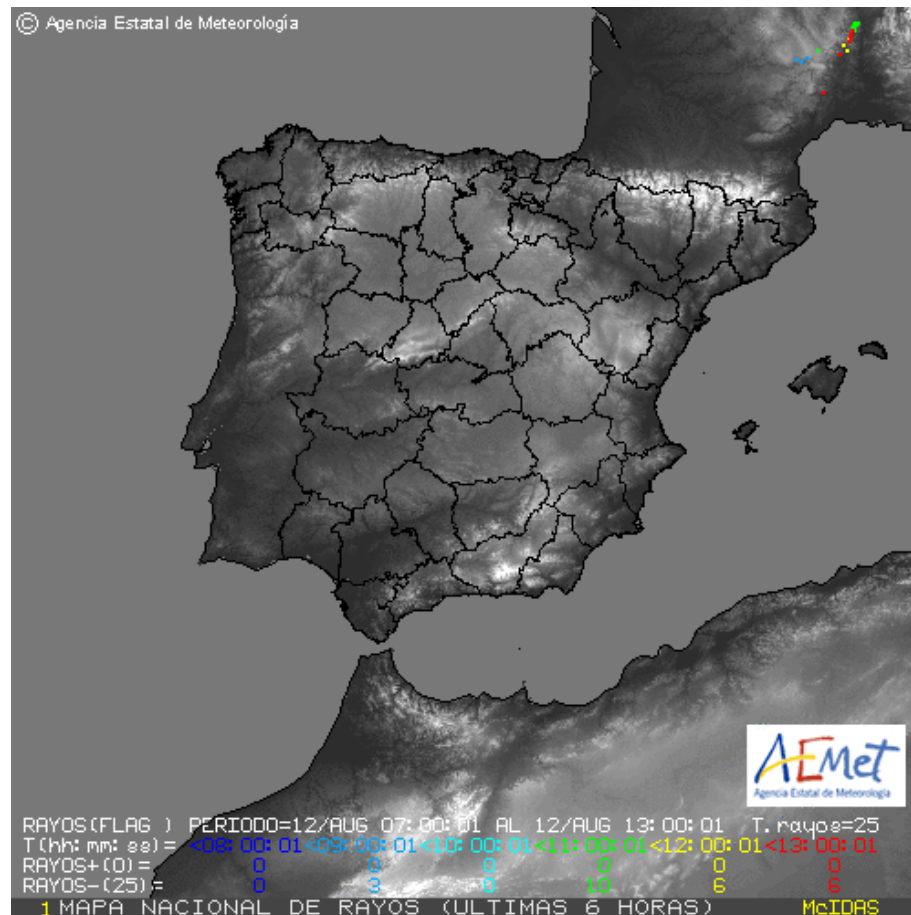
Se puede efectuar un seguimiento de los impactos de rayos en tiempo pasado en diferentes mapas virtuales. Existen varios portales donde podemos ver la actividad de rayos a nivel nacional y europeo, por ejemplo en:

Francia: Météorage, del grupo Météo France

<http://www.meteorage.fr>

Catalunya: Meteocat

www.meteocat.net/marcs/marcos_observacio/marcs_llamps.htm

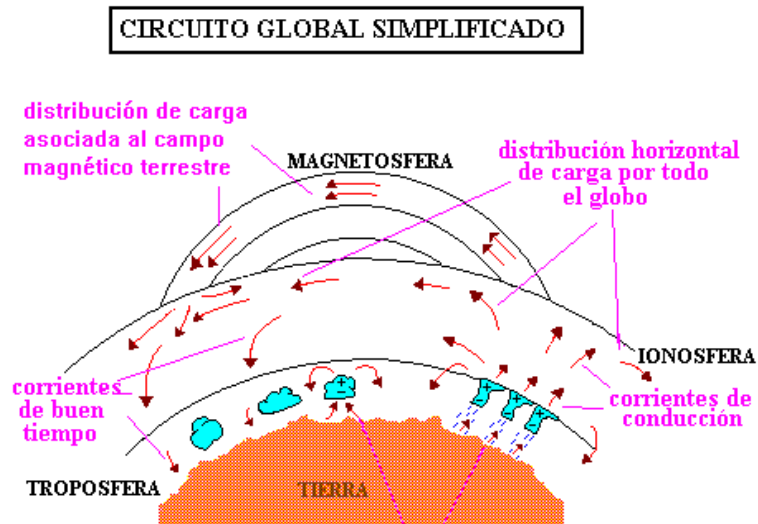
España: Instituto Nacional de Meteorología<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/rayos>**La teoría de la generación de cargas en la nube**

La influencia eléctrica presente en la tierra, procede de la distribución de cargas del campo eléctrico natural entre ionosfera y tierra en tiempo estable sin tormentas; durante las tormentas, las tensiones eléctricas resultantes son causadas por la concentración y generación de cargas del fenómeno termodinámico que se produce en el interior del cúmulo-nimbus. Durante su evolución, la constante de generación de cargas es aproximadamente de 1 culombio por km^3 por minuto; el proceso de generación y su situación en el espacio tiempo, transforma físicamente en tres estados el vapor de agua existente en el aire en su ascensión, pasando de Gaseoso (vapor de agua) a líquido (micro gotas de agua) Sólido (cristales de hielo) y viceversa en su descenso, que es causado por el aumento de volumen y peso por la acumulación de los cristales de hielo en la gotita de agua.

Los diferentes valores de las isothermas, la depresión constante del sistema Tierra-atmósfera-ionosfera, la altura determinada de la nube referente a la atmósfera y las incidencias variables de las ondas solares, aportan la energía necesaria para efectuar esta transformación física del vapor de agua y arrancar el sistema

termodinámico para cargar el condensador eléctrico en forma de nube (+/- 90 W/Kg. de vapor).

Las isotermas diferencian con exactitud la base de la nube , ésta mantiene la nube a una altura determinada referente al suelo dependiendo de la depresión atmosférica del lugar. El viento con sus diferentes influencias térmicas, eléctricas y de humedad, desplazará en medida todo el sistema .



Modelos Conceptuales: Rayos (MCM2)

Autores : Olinda Carretro Porris, Francisco Martín León.

La generación y separación constante de cargas dentro de la nube, polarizará la nube induciendo a su alrededor y en tierra un campo eléctrico opuesto, los valores eléctricos resultantes creados por la diferencia de potencial entre la ionosfera y la tierra arrancan en 120V/m a nivel de mar en tiempo estable, aumentando progresivamente, hasta valores críticos de 45.000 Voltios/m durante la aparición y formación del típico cúmulo-nimbus (entre base de nube y tierra). Durante el proceso activo crítico de la tormenta, estos valores modifican las propiedades del aire colindante que se comporta normalmente como un dieléctrico.

Las líneas de campo eléctrico tienen un sentido, de polo positivo a polo negativo, si estas líneas de campo se transfieren paralelamente y su separación entre ellas son equidistantes , el campo resultante es homogéneo, de lo contrario si se saturan en un punto concreto se generará un efecto punta a causa de la transferencia concentrada de electrones que excitará el dieléctrico (aire) ionizándolo hasta la ruptura de su resistencia donde aparecerá el arco eléctrico llamado el Rayo; en ese momento el potencial eléctrico ambiental, será compensado a causa de la descarga eléctrica, hasta su próxima generación .

Repercusiones eléctricas

Durante la descarga del rayo se generan inducciones y acoplamientos en las líneas de transporte eléctrico y de tele-comunicaciones. Como referencia, en cada impacto de rayo en un pararrayos tipo FRANKLIN, antes, durante y después de su descarga a tierra, se generan otros fenómenos eléctricos indirectos que repercuten destruyendo nuestras instalaciones y a las instalaciones de nuestros vecinos en un radio de acción proporcional a la intensidad de la descarga, que puede alcanzar los 1.500 metros. El rayo, aparece repetidamente, durante las tormentas de cada año.

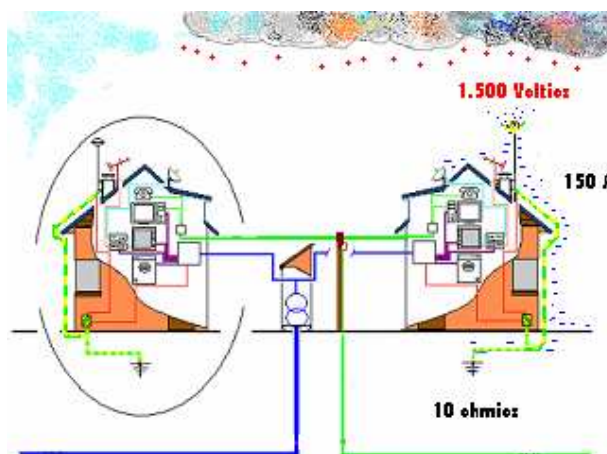
Los efectos del impacto de rayo durante su descarga pueden ser directos o indirectos a causa de:

1.Cargas electrostáticas durante la formación del líder.

En el momento de la presencia de la sombra eléctrica en tierra, el campo eléctrico presente es de alta tensión, y genera el efecto punta en la parte más alta de la instalación. Este efecto se transforma visualmente en chispas que salen de los materiales expuestos a la sombra eléctrica. En el caso de una punta de pararrayos, las cargas electrostáticas generan interferencias y ruidos que se pueden acoplar en las líneas de datos o señales de TV y radio. Durante la aparición de este fenómeno, por el cable de tierra del pararrayos circularan corrientes superiores a los 150 Amperios, **¿ por qué ?**.

Pues porque las chispas del efecto punta, aparecen a partir de la ionización del aire, y para ionizar el aire, necesitamos como mínimo 1.500 voltios en la punta de un electrodo (dependiendo de la calidad del aire), si aplicamos la Ley de Ohm y tomamos los 1.500 Voltios como referencia de tensión (E) y los 10 Ohmios de la resistencia de la toma de tierra como referencia de resistencia (R), tendremos una intensidad de corriente (I) que circulará por el cable de tierra de :

$$I = E / R \text{ (150Amperios).}$$



2. Pulsos electrostáticos (ESP).

Los pulsos electrostáticos son transitorios atmosféricos y aparecen en los equipos por la variación brusca del campo electrostático presente en la zona durante la tormenta, la causa de este fenómeno la genera la diferencia de potencial entre la nube y la tierra. Sus efectos se transforman en pulsos eléctricos que aparecen a partir de impactos de rayos cercanos. Todo aquello que se encuentre suspendido en el aire referente a tierra dentro de la sombra eléctrica, se cargará con una tensión proporcional a su altura y el campo electrostático presente, como si de un condensador se tratara.

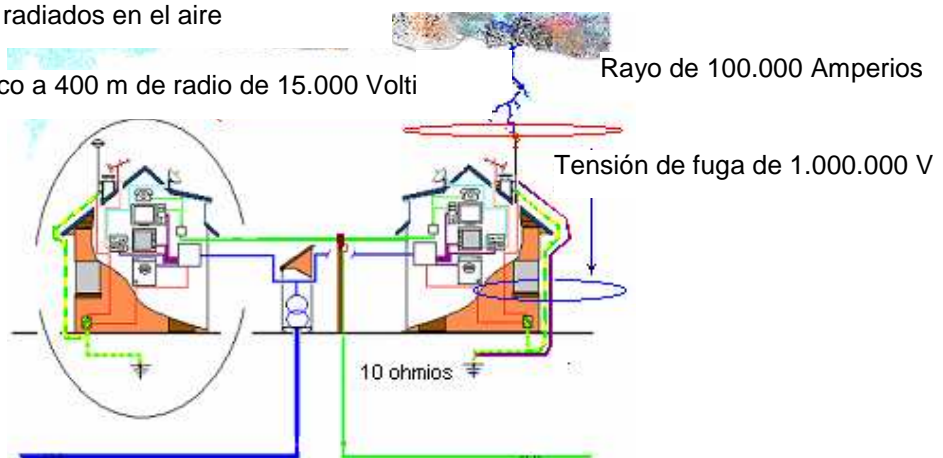
Como referencia a 10 metros de altura, en las líneas de datos o telecomunicaciones aisladas de tierra, pueden padecer tensiones de 100 a 300.000 voltios con respecto a tierra dentro de un campo electrostático medio.

3. Pulsos electromagnéticos (EMP) .

En el instante mismo del impacto de rayo en un pararrayos o en un elemento cualquiera, el contacto físico de la energía del rayo en el punto de contacto, genera una chispa que se transforma en un pulso electromagnético que viaja por el aire, en el mismo instante el flujo de la corriente que circula por los conductores eléctricos de tierra a la toma de tierra, genera un campo magnético proporcional a la intensidad de la corriente de descarga del rayo.

100.000.000 Kilowatios radiados en el aire

Pulso electromagnético a 400 m de radio de 15.000 Volti



La energía radiada por el pulso electromagnético en el aire, viaja a la velocidad de la luz induciendo por acoplamiento todo aquello que se encuentre a su paso referente a tierra, destruyendo nuestros componentes electrónicos y los de nuestro vecino en un radio de 1.500 metros y llegando la señal radiada a más de 300 km de distancia.

La intensidad del pulso electromagnético es variable en función de la intensidad de descarga del rayo y del punto de contacto físico con el elemento impactado, el tiempo de la transferencia de la corriente a tierra y el nivel de absorción de la tierra física, determinaran los valores eléctricos de acoplamiento en los equipos cercanos.

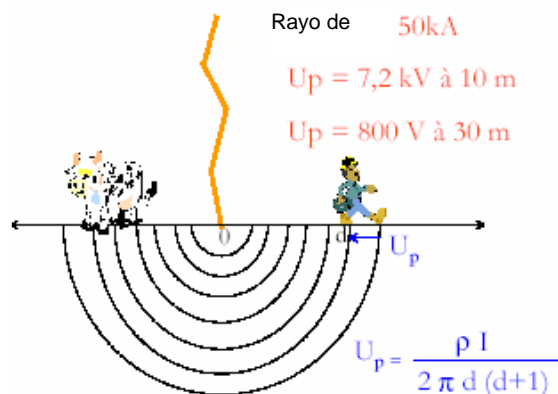
4. Sobretensión y tensiones de paso durante el impacto de rayo

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

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

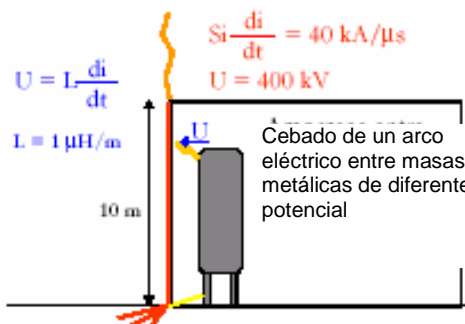
Por ejemplo, si aplicamos la Ley de Ohm, y tomando un valor medio del impacto de un rayo a tierra de 50.000 Amperios (I) y un valor de la resistencia de la toma de tierra de 10 Ω (R), entonces se obtiene unos resultados de tensión que circulará por los cables de tierra en el momento del impacto de 500.000 Voltios (Alta Tensión). $E = I \times R$

La tensiones de paso generadas en ese momento por la diferencia de potencial entre electrodos o partes metálicas, dará un resultado de 7.200 Voltios a 10 metros de distancia y a 30 metros quedará un residual de 800 Voltios.



Protección contra el rayo en instalaciones industriales, Pierre Gruet, INERIS

Los equipos que no estén conectados a la misma toma de tierra, tendrán el riesgo de que les aparezcan arcos eléctricos que saltaran entre masas de diferente potencial durante el instante de la descarga del rayo cercano.



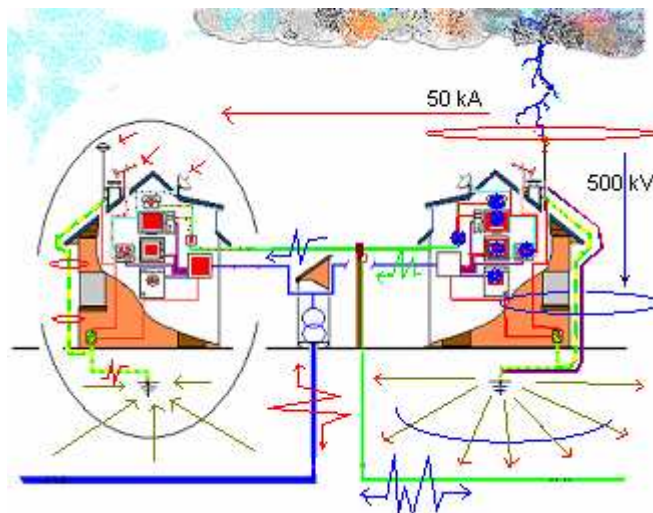
Protección contra el rayo en instalaciones industriales, Pierre Gruet, INERIS

5. Corrientes de tierra.

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.

Otro fenómeno que repercute a tensiones de tierra, es la diferencia de potencial entre masas o electrodos de tierra cercanos al impacto de rayo, al producirse la descarga del rayo todos los fenómenos antes descritos interactúan entre ellos y tienden a descargar a tierra, en función de la distancia entre electrodos se generará una resistencia propia del semiconductor (el compuesto químico de la tierra física), y aparecerán tensiones de paso peligrosas entre electrodos.

Otro fenómeno importante que repercute directamente a la vida útil de los electrodos, es su pérdida de iones en cada proceso de transferencia. Es decir cada impacto de rayo en un pararrayos, genera una fuga brutal de corriente que pasa a tierra por medio del electrodo de tierra a la tierra física, en ese momento se crea un intercambio de iones o electrolisis natural entre el material del electrodo y la tierra física, el intercambio iónico brutal e instantáneo reacciona con el entorno, creando una cristalización de la tierra física.



Cada descarga de rayo, evapora el agua que contiene la tierra a su alrededor, modificando la resistencia propia de la toma de tierra.

Con el tiempo los electrodos que se utilizan como puesta a tierra, llegan a desaparecer, ya en su primer año de vida, pierden contacto físico con la tierra y su capacidad de transferencia disminuye peligrosamente a causa de la oxidación.

Se tiene que tener en consideración que todos los materiales o puntos de contacto a tierra tiene diferentes valores de comportamiento eléctrico, su propia resistencia como conductor eléctrico puede variar considerablemente en función de las condiciones que lo rodean (humedad, temperatura, contaminación química, etc.).

Mantenimiento y revisión anual de las tomas de tierra eléctricas es obligatorio para garantizar una buena disipación de las fugas de corriente.

Algunos valores relacionados con el fenómeno rayo:

1. Tensión entre nube y un objeto a tierra.....1. a 1.000. kV.
2. Intensidades de descarga5 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. Propagación340 metros por segundo.
8. Campo electroestático por metro de elevación sobre la superficie de la tierra.....10 kV.

Los efectos del campo eléctrico en nuestro cuerpo.

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/m² 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 gigahertzios o microondas. (4. ver referencias).

Los rayos causan muchas muertes en el mundo, sólo en Brasil mueren cien personas por año. Es uno de los países 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

- Una media de 1.000.000 de impactos de rayo por año .
- El coste anual de los daños causados por el rayo **se cifra en millones de €uros.**
- Mueren cada vez más personas, entre 8 y 15 muertos por año.



- Más de 20.000 animales muertos.



- 20.000 siniestros causados por rayos de los cuales 15.000 ocasionaron incendios.
- 50.000 contadores eléctricos destruidos.

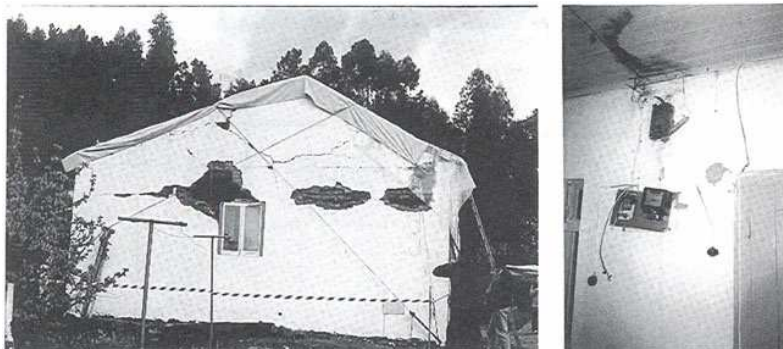


Fig. 2: Daños causados por un rayo que impactó en la antena TV (Marzo de 2002, Limeiras, Portugal)

- 250 campanarios afectados.

Los impactos de rayo directos son mortales para el ser humano.

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

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.

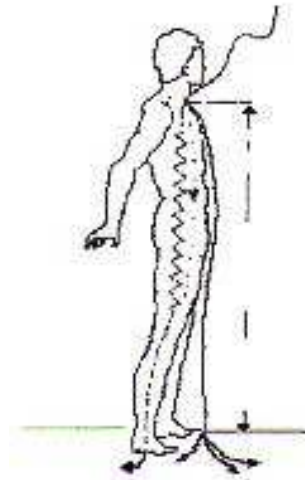


FIGURA 7 Muerte por impacto directo.

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 post-traumático
8. Muerte por:
 - a. Paro cardiaco.
 - b. Paro respiratorio.
 - c. Lesiones cerebrales.

El rayo mata cuando menos te lo esperas

Como cada año, queremos concienciar a la población del enorme peligro que generan los rayos durante las tormentas eléctricas, son armas naturales con derecho a destrucción y muerte. La naturaleza descarga su furia indiscriminadamente a tierra sin mirar a qué o quién, destruyendo instalaciones y matando a toda persona y animal que se encuentre en su camino. Durante todo el año, recibimos periódicamente algunas noticias relacionadas con la muerte de personas a causa del rayo, las introducimos en nuestra base de datos y anualmente efectuamos un análisis de lo ocurrido. En el año 2005, hemos recibido 66 noticias de muertes a causa del rayo, el análisis de estas noticias se resume en 237 víctimas de 54 rayos asesinos:

Casos	Muertos	Situación
1	1	En la playa
1	1	Montando a caballo
1	1	Pescando
1	10	Estando dentro de la iglesia
1	3	Asistiendo a un entierro de un familiar
1	110	Viajando en un avión
2	2	De acampada en la montaña
2	4	Paseando por el campo
3	9	Cumpliendo por la patria
3	18	Trabajando
4	11	Estando dentro de casa
10	23	Mientras jugaban a fútbol
11	24	Protegiéndose de la lluvia debajo de un árbol
13	20	No especificada

El riesgo de muerte por rayo, se puede representar en cualquier lugar, puede penetrar por la ventana de casa y acceder al comedor para matar a 3 personas, o incluso entrar dentro de la iglesia y matar otras 3 personas cuando estaban rezando.

Las muertes del año 2005, dejaron el curso de su vida instantáneamente sin poder despedirse de nadie, y ellos no fueron culpables de nada, disfrutaban de su momento, paseando, pescando, cumpliendo con sus obligaciones laborales o luchando por sobrevivir día a día.

Uno de los últimos accidentes más graves de este año, ha sido el desgraciado sábado 10 de diciembre de este año, el rayo impactó violentamente en el avión de la compañía nigeriana Sosoliso Airlines antes del aterrizaje, la tragedia no se pudo evitar y el avión se estrelló. El rayo asesino se llevó la vida de 110 personas, 7 miembros de la tripulación del avión y 103 pasajeros que volvían a casa por navidad.

La mayoría de los pasajeros eran niños que estaban en la flor de la vida, entre 10 y 18 años. Regresaban a casa para pasar unas merecidas vacaciones después de un periodo de internado en la escuela Salesiana de Loyola de Nigeria.

Otro accidente grave causado por un rayo, fue el 4 de noviembre del año 1994 en el Alto Egipto, el rayo impactó en un depósito de petróleo que estaba situado en lo alto de una colina a 200 metros de la ciudad de Darnaka.

El depósito se incendió y después explotó, creando una riada de llamas que pasó por el centro de la ciudad donde el petróleo en llamas entraba dentro de las casas. El balance de muertes por el efecto indirecto del rayo, superó el 10 % de la población:

270 personas.

Muchos desaparecidos y centenares de heridos.

La ciudad quedó destruida completamente.

Cómo protegerse del rayo

Ante la posibilidad de tormentas, tenemos que ser conscientes del posible riesgo que podemos padecer si salimos al campo sin tomar medidas preventivas, la posibilidad de que el rayo nos mate es de 1 entre 1.000.000, pero la posibilidad existe y tenemos que aceptarla o evitarla.

Si nos encontramos ya en el campo y nos coge la tormenta, lo mejor es saber qué dirección lleva para actuar en consecuencia. Para ello tenemos que contar el tiempo que pasa en segundos entre el relámpago visible y el ruido del trueno, y multiplicar el valor por 340 (340 m/s es la velocidad del sonido), el resultado será la distancia en metros del impacto de rayo que acabamos de ver, si la distancia de impacto de rayo permanece, sabremos que la tormenta pasa de lado.

Por lo contrario si la distancia disminuye, tendremos que saber como actuar. Aconsejar cómo protegerse es muy difícil dados los cientos de posibilidades de riesgo que existen, en general según los accidentes y muertes por rayo, pocos sitios son seguros cuando nuestro destino está marcado.

Vamos a suponer las situaciones más críticas:

Alto riesgo:

1-Sentimos un hormiguelo en la piel y los pelos se ponen de punta, “reacción instantánea” crear una diferencia de altura dejándonos caer al suelo sentados y tumbarnos seguidamente de lado al suelo, poniendo la cabeza lo mas cerca de las rodillas y con las manos en los tobillos.

2- Cae un rayo a tierra a menos de 800 metros “ reacción instantánea” si estamos de pie apoyarnos con un solo pie, si estamos sentados levantar los dos pies de tierra, si estamos en el agua, sumergirnos, si estamos en un puente metálico tocar con las dos manos la barandilla, si estamos a caballo hacer encabritar el caballo, si estamos jugando a golf soltar el palo y ponerse a un pie. Resumiendo, la reacción instantánea es evitar dos temas importantes:

- 1- Evitar que las tensiones de paso que viajan por tierra durante el impacto de rayo nos afecten directamente por diferencia de potencial y tensiones de paso, con lo cual tenemos que evitar tener los dos pies a tierra.
- 2- Evitar que el pulso electromagnético que viaja por el aire, nos afecte directamente y genere una diferencia de potencial si estamos en una estructuras metálica, en estos casos lo mejor es estar descalzo o cogidos a la estructura metálica, es como cuando vemos a los pájaros en los cables de alta tensión, están al mismo potencial que el cable eléctrico y no les pasa nada, en este caso si tenemos un puente metálico lo mejor es estar sobre el con los pies descalzos y sentados.

En los demás casos, evitar estar debajo de árboles, intentar formar parte de la naturaleza sin sobresalir mucho del medio que os encontréis, un coche es más seguro que nada, pero los rayos también los atraviesan, una iglesia es más segura, pero el rayo también entra dentro, una casa es más segura, pero los rayos atraviesan el techo y 1 planta, sintiéndolo mucho no se puede efectuar una recomendación lógica, lo más seguro seria dentro de un contenedor de hierro.

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 tipo Franklin no ha evolucionado.**

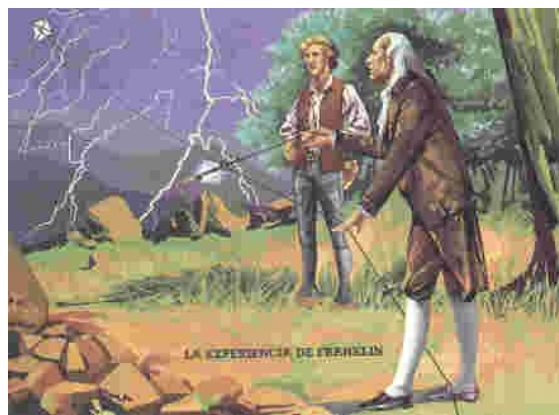


FIGURA 10 experimento de Franklin

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 (sobretensión) en los equipos eléctricos, de telecomunicaciones, audiovisual y cualquier otro que contengan electrónica sensible, 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 más reducidos y sensibles a las variaciones de tensión y frecuencia. Es evidente que les afecta la contaminación eléctrica ambiental y dependen de la continuidad y calidad en el suministro eléctrico o en la comunicación de la información, por ese motivo se tienen que evitar en lo posible las fuentes que generan perturbaciones electromagnéticas, como por ejemplo los impactos de rayos cercanos o las instalaciones de pararrayos.

Algunas de las normativas de pararrayos actuales

Las normas actuales de pararrayos tipo Franklin o PDC, no ofrecen unas garantías de protección. El contenido de la norma define cómo efectuar una instalación de pararrayos y tiene como objetivo salvaguardar la vida de las personas y animales junto a sus propiedades. Remarcan que “ en mayor o menor grado, aceptan que no existe una protección absoluta contra el rayo, sino sólo una protección adecuada “ .

Resumimos algún contenido de las diferentes normativas de cada país:

BS 6651 “ Esta guía es de naturaleza general... “ Se hace énfasis en que, aun cuando se suministre protección, el riesgo de daños a las estructuras a proteger nunca puede ser completamente efectiva.

IEC 61024-1 Parte uno: Principios Generales “Un sistema de protección contra el rayo, diseñado e instalado conforme a esta norma, no puede garantizar una protección absoluta a estructuras, personas u objetos; sin embargo, el riesgo de daños causado por el rayo a estructuras protegidas será reducido significativamente mediante la aplicación de esta norma”.

API 2003. Capitulo 5. Sección cinco “ Probablemente, la propiedad más importante del rayo es su complejidad, por lo que no existe una norma del rayo... No puede asegurarse, en forma absoluta, la prevención o disipación en forma segura de la corriente de rayo, aun cuando se tomen las precauciones conocidas”.

NFC-17102 (Francia) dicen en su introducción, “Una instalación de protección contra el rayo concebida y realizada conforme a la presente norma, no puede, como todo proceso en el que intervienen elementos naturales, asegurar la protección absoluta en las estructuras, de las personas o de los objetos...”.

UNE 21186.(España), es una traducción textual de la NFC-17102.

Algunas 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.

Cabe recordar, que las actuales normativas están reguladas por grupos de trabajo, donde participan activamente los fabricantes de pararrayos, para adaptar las propias normas a sus exigencias de producto y poder así controlar su propio mercado.

Existe una gran necesidad de revisar las normativas a nivel mundial, en ellas no se tendría que favorecer a los fabricantes, sino que se tendría que dar prioridad a la protección de las personas e instalaciones.

Paradójicamente las normativas de pararrayos incumplen de lleno con los requisitos eléctricos de los Reglamentos Electrotécnicos de Baja Tensión a nivel mundial, donde la prioridad, es evitar tensiones de paso peligrosas, evitar equipos que generen perturbaciones electromagnéticas, evitar sobretensiones y proteger sobre todo a las personas de posibles descargas eléctricas.

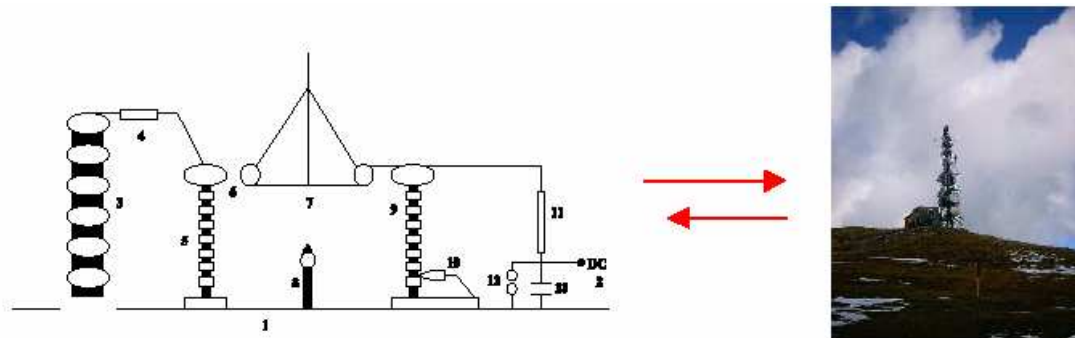
Ensayos de pararrayos en laboratorio según la normativa.

Los ensayos experimentales en un laboratorio técnico de alta tensión, sólo 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.



FIGURA 11 Laboratorio de ensayos eléctricos.

No se podrán 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.



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 tiene que ver en absoluto con las tan diferentes configuraciones de las instalaciones de pararrayos. En el campo de aplicación de una instalación de pararrayos, intervienen muchos fenómenos medioambientales y diferentes contextos geográficos, formas arquitectónicas, materiales que pueden interferir positiva o negativamente en la transferencia, excitación y descarga de la energía del rayo.

Valores de referencia		En las instalaciones	En un laboratorio
Medidas de separación entre electrodos.	Entre nube y pararrayos (metros)	2 .000 a 3.000	1,2 a 1,3
	Entre suelo y pararrayos (metros)	15 a 443,2 m	1 a 1,1
Descarga de rayo nube a tierra: negativo.	Velocidad (m/s)	10^5 a 10^6	$1,2 \cdot 10^4$ a $2 \cdot 10^4$
	Corrientes (A)	50 a 200.000	0,5 a 1
	Campo eléctrico Ambiental (kV/m)	10 a 80	100 a 300

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. En los ensayos de campo, se tienen que verificar las perturbaciones electromagnéticas que genera cada instalación para poder evaluar el riesgo que esta genera en cada impacto de rayo.

Propuesta de mejora y actualización de las actuales normativas de protección contra el rayo.

Las normativas de pararrayos deben definir un tipo de instalaciones donde la prioridad sea la protección de las personas y animales. El principio de protección de todas ellas es adoptar un sistema pasivo que reduzca la incidencia de rayos en la instalación, evitando así los posibles daños a causa de la descarga.

Según los diferentes estudios científicos, el rayo es la representación de la saturación de carga eléctrica entre nube y tierra que ha estado causada por dos tipos de electricidad atmosférica, la positiva y la negativa.

Todo principio de protección externa del rayo tiene que evitar este fenómeno eléctrico de saturación atmosférica (Campo de Alta Tensión), transfiriendo la carga electrostática a tierra según aparece durante el proceso de la tormenta sin generar la descarga .

Los equipos diseñados como Sistemas de Protecciones Contra el Rayo (SPCR), tienen que tener como objetivo prioritario, evitar la formación e impacto del rayo a tierra en el radio de protección definido.

Los Sistemas de Protecciones Contra el Rayo (SPCR), tienen que incorporar sistemas que analicen y garanticen la efectividad del sistema, donde el principio de éstos sea recoger datos estadísticos que revelaran y analizaran el comportamiento del conjunto de protección tierra / aire durante la tormenta, justificando la transferencia de carga del sistema.

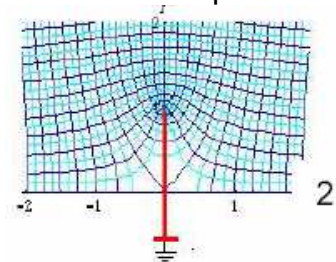
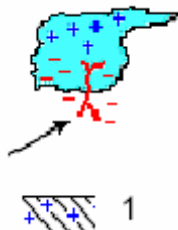
**Las tecnologías actuales de pararrayos.
Pararrayos puntas simple Franklin (PSF)**



Analizamos 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. Durante el proceso de la tormenta se generan campos eléctricos de alta tensión entre nube y tierra (1). Las cargas se concentran en las puntas más predominantes a partir de una magnitud del campo eléctrico (2). Alrededor de la punta o electrodo aparece la ionización natural o efecto corona, resultado de la transferencia de energía. Este fenómeno es el principio de excitación para trazar un canal conductor que facilitará la descarga del fenómeno rayo (Leader).



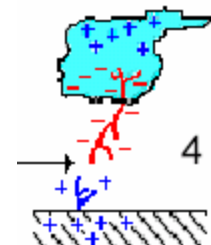
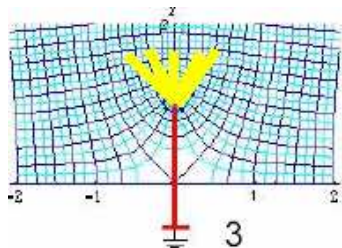
En función de la transferencia o intercambio de cargas, se pueden apreciar, en la punta del pararrayos, chispas diminutas en forma de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos (efecto corona 3).

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 (Trazador o canal ionizado) (4).

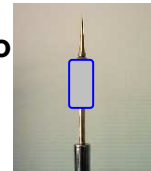
El rayo es el resultado de la saturación de cargas entre nube y tierra, se encarga de transferir en un instante, parte de la energía acumulada; el proceso puede repetirse varias veces.

3. El objetivo de estos pararrayos 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.

Se conocen casos en los que parte del pararrayos ha desaparecido a causa del impacto, que superó los 200.000 Amperios. Algunos estudios demuestran que estos equipos no son eficaces.



Las tecnologías actuales de pararrayos. pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)

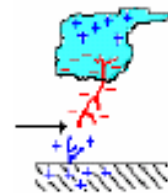
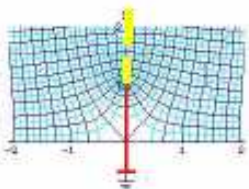


Analicemos algunos principios básicos.

Características básicas. Están formados por electrodos de acero o de materiales similares acabados en una punta. Incorporan un sistema electrónico que genera un avance teórico del trazador; otros incorporan un sistema piezoeléctrico que genera un efecto similar. Los dos sistemas se caracterizan por anticiparse en el tiempo en la captura del rayo, una vez que se produce la carga del dispositivo electrónico de excitación (cebador). Las medidas de los cabezales varían en función del modelo de cada fabricante. No incorporan ninguna fuente radioactiva.

Cabe destacar que en España se llaman "PDC", en Francia "PDA" y en USA "ESE".

El principio de funcionamiento sigue siendo el mismo que los pararrayos tipo Franklin, la diferencia tecnológica de estos equipos está en el sistema electrónico, que aprovecha la influencia eléctrica del aumento de potencial entre la nube y la tierra para autoalimentar el cebador. Son componentes electrónicos que están alojados normalmente en el



interior de un envase metálico y colocado en la parte más cercana de la punta del pararrayos y sirve para excitar la avalancha de electrones (ionización). La excitación del rayo se efectúa ionizando el aire por impulsos repetitivos. Según aumente gradualmente la diferencia de potencial entre el pararrayos y la nube, aparece la ionización natural o efecto corona. Son mini descargas que salen de la punta con más intensidad para ionizar el aire más lejos; este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor intermitente que facilitará la descarga del fenómeno rayo.

El dispositivo electrónico de cebado del PDC está conectado en serie entre el cabezal aéreo y la punta. Sólo funciona con rayos negativos. El sistema de cebado necesita un campo eléctrico de alta tensión polarizado y un tiempo de carga para activar su dispositivo electrónico. Éste generará un impulso de cebado intermitente mientras exista el aporte de energía natural. Este tiempo de carga del dispositivo electrónico de cebado no se contabiliza en los ensayos de laboratorio de alta tensión para la homologación de un PDC. En el campo de aplicación, el dispositivo electrónico de cebado instalado en la punta del PDC necesita un tiempo de trabajo y una polarización estable del campo eléctrico para efectuar la primera carga del sistema electrónico de cebado. Durante ese proceso, el efecto de ionización se retrasa en la punta del PDC referente a los sistemas convencionales de pararrayos en punta tipo Franklin. El dispositivo de cebado está formado por pequeños componentes electrónicos sensibles a los campos electromagnéticos, compuesto de: diodos, bobinas, resistencias y condensadores aislados entre sí por una resina. Este dispositivo se encuentra instalado en el cabezal aéreo (PDC).



El conjunto está dentro de la influencia directa de los efectos térmicos, electrodinámicos y electromagnéticos que genera el impacto del rayo durante la descarga. En función de la intensidad de descarga del rayo, la destrucción del

dispositivo electrónico es irreversible. A partir de ese momento, la eficacia del PDC no está garantizada. Algunos fabricantes de PDC aconsejan en sus catálogos la revisión del dispositivo electrónico de cebado cada vez que recibe un impacto o descarga del rayo en el pararrayos para garantizar la eficacia del PDC. El objetivo de estos pararrayos es excitar la descarga y capturar el impacto del rayo negativo a tierra (NO LOS POSITIVOS), para conducir su potencial de alta tensión a la toma de tierra eléctrica. Según la norma, el conjunto de la instalación no garantiza la protección de las personas, animales e instalaciones, (paradójicamente las instalaciones de pararrayos están reguladas por normativas de baja tensión, valores inferiores a 1000 V). El radio de acción de estos pararrayos ha sido reducido en un 40 % en Francia según la norma, después del estudio efectuado por el INERIS. Algunos fabricantes aconsejan la revisión del circuito electrónico del pararrayos cada vez que recibe un impacto.

Se cuestiona la eficacia de los pararrayos tipo punta

Un estudio efectuado en el año 2001 por el INERIS (Instituto Nacional Francés del medio ambiente industrial y los riesgos), sobre los riesgos de los rayos en instalaciones de protección, determinan el nivel de satisfacción de los usuarios de instalaciones de pararrayos. Algunas de las conclusiones dicen que un 22 % está completamente insatisfecho por sufrir daños en sus instalaciones durante las descargas de rayos en el pararrayos. Durante la encuesta, se consultaron más de 483 industriales de diferentes sectores: Químicas, gas, pirotecnia, refinerías, etc. Las zonas de estudio fueron diversas, tocando todas las zonas de bajo, medio y alto riesgo de descargas del rayo en Francia. El 78% tenían las instalaciones protegidas con pararrayos y equipos de sobretensiones, de las cuales el 40`7 % son puntas Franklin, el 30 % PDA (pararrayos con dispositivo de cebado) y el resto son de diferentes sistemas de captación. En el estudio se recogen diferentes informes de los daños causados por el impacto del rayo en diferentes condiciones, las más significativas son durante la descarga del rayo en un pararrayos. Los accidentes ocurrieron entre 1994/1998.

Referencia Nº 6675-29/07/94.38 Centro de colonias.

Resumen de la traducción: Durante las vacaciones escolares, 124 niños tuvieron que ser evacuados por los bomberos a causa del incendio con riesgo de explosión de un depósito de gas. El rayo impactó directamente en el pararrayos, y generó un arco eléctrico durante la descarga entre la instalación del pararrayos y la tubería general del depósito de gas. La descarga perfora la tubería ocasionando una fuga de gas y un incendio; el riesgo de explosión, apareció al no funcionar las válvulas de cierre automático del gas.

Referencia Nº 9664-02/08/96.33 Construcción Aeronáutica y espacial

Resumen de la traducción: El rayo hace impacto en el pararrayos que protege un edificio de ensamble para la lanzadera e ingenios espaciales. Los equipos son dañados así como el sistema de protección de incendio.

Las conclusiones del estudio determinan que el 22 % de los usuarios de instalaciones de pararrayos, no está satisfecho en absoluto con el sistema, a causa de los daños repercutidos con destrucción de material y daños eléctricos durante la descarga de rayo en el pararrayos.

Daños ocasionados: 80 % Eléctricos - 69 % materiales.

- Valor económico: 48 % Entre 1.500 / 15.000 €. - 10 % Superior a 15.000 €
- Paro de la actividad industrial: 24 % parcial - 3,5 % Total.

Las nuevas tecnologías de pararrayos.

Analicemos algunos principios básicos.

Las nuevas tecnologías de pararrayos se dividen en:



Pararrayos CTS (Charge Transfer System). Basan su principio en la desionización del aire. El objetivo es evitar la saturación de carga electrostática entre la instalación de tierra y la atmósfera que nos rodea, concretamente compensar pacíficamente la diferencia de potencial eléctrico de la zona durante el primer proceso de la formación del rayo.



Pararrayos CEC, (Compensador Efecto Corona). Basan su principio en la distribución equipotencial de la ionización en el aire. El objetivo es evitar el efecto punta en la atmósfera que lo rodea, concretamente distribuir radialmente la transferencia de carga de la zona, durante el primer proceso de la formación del rayo.

Con este principio físico se anula la concentración del campo eléctrico de alta tensión en las puntas más salientes de la instalación que queremos proteger, evitando la aparición del Líder y por consiguiente el resto del proceso del rayo, (excitación y descarga rayo). El resultado efecto / causa, es una zona eléctricamente compensada fuera de influencias de rayos directos.

Los pararrayos CTS y CEC:

- Se destacan por ser de forma esférica (CTS) o semiesférica (CEC).
- Están instalados en la parte más alta de la instalación y conectados a tierra.

Durante la aparición en tierra del proceso de la carga electrostática del fenómeno del rayo, el pararrayos facilita la transferencia de energía a tierra y se transforma en una pequeña corriente de fuga que circula por el cable de tierra a la toma de tierra. El valor eléctrico resultante se puede registrar con una pinza amperimétrica de fuga a tierra.

El valor máximo de lectura en plena tormenta no supera los 300 Mili-Amperios y es proporcional a la carga eléctrico-Atmosférica durante la tormenta.

Los pararrayos se instalan según unas normativas actuales y se resumen en 4 elementos básicos:

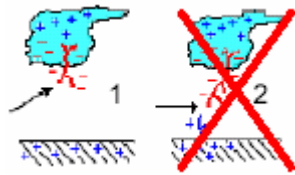
1. La toma de tierra con una resistencia inferior a 10 ohmios.
2. El equipotencial de masas.
3. El mástil y cable conductor que conecta la tierra con el cabezal aéreo.
4. El pararrayos (Electrodo aéreo captador).

Los Pararrayos CTS



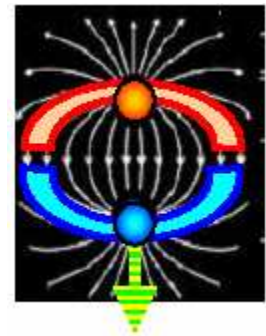
Características básicas. Se caracteriza por facilitar la transferencia de la carga electrostática entre nube y tierra antes del segundo proceso de la formación del rayo, anulando el fenómeno de ionización o efecto corona en la tierra.

El cabezal del pararrayos está constituido por dos electrodos de aluminio separados por un aislante dieléctrico. Todo ello está soportado por un pequeño mástil de acero inoxidable. Su forma es esférica y el sistema está conectado en serie entre la toma de tierra eléctrica y la atmósfera que lo rodea.



Durante el proceso de la tormenta se genera un campo de alta tensión en tierra que es proporcional a la carga de la nube y su distancia de separación del suelo.

A partir de una magnitud del campo eléctrico natural en tierra, la instalación equipotencial de tierras del pararrayos, facilita la transferencia de las cargas por el cable eléctrico. Estas cargas, indistintamente de su polaridad, se concentran en el electrodo inferior del pararrayos que está conectado a la toma de tierra por el cable eléctrico y situado en lo más alto de la instalación.



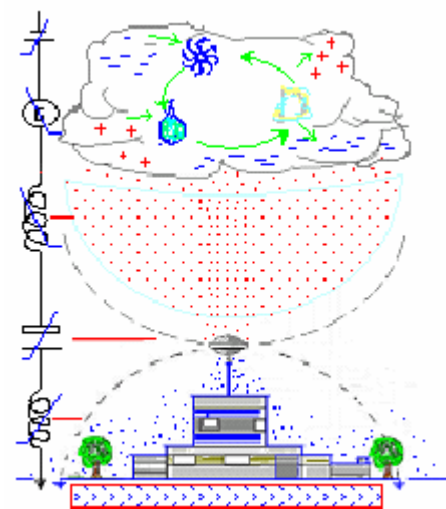
La baja resistencia del electrodo inferior del pararrayos en el punto más alto de la instalación, facilita la captación de cargas opuestas en el electrodo superior. Durante este proceso de transferencia de energía se produce internamente en el pararrayos un pequeño flujo de corriente entre el ánodo y el cátodo.

El efecto resultante genera una corriente de fuga, que se deriva a la puesta a tierra eléctrica de la instalación y es proporcional a la carga de la nube. Durante el proceso de máxima actividad de la tormenta se pueden registrar valores máximos de transferencia de 300 miliamperios por el cable de la instalación del pararrayos.

La carga electrostática de la instalación se compensa progresivamente a tierra según aumenta la diferencia de potencial entre nube y tierra, neutralizando el efecto punta en tierra en un 100 % de los casos (Trazador o Líder). El cabezal captador del pararrayos no incorpora ninguna fuente radioactiva.

El efecto de disipar constantemente el campo eléctrico de alta tensión en la zona de protección, garantiza que el aire del entorno no supere la tensión de ruptura evitando posibles chispas, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor y caídas de rayos .

El objetivo del conjunto de la instalación, se diseña como Sistema de Protección Contra el Rayo (SPCR) donde el motivo principal es evitar la formación y descarga del rayo en la zona de protección. El sistema es eficaz en un 100 % de los casos.

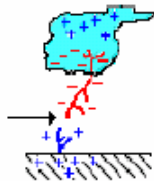


Pararrayos CEC

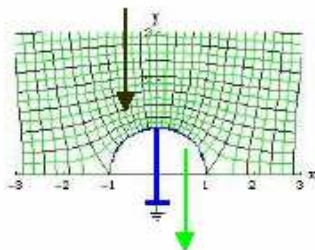
Analicemos algunos principios básicos.



Características básicas. Los Pararrayos CEC se caracterizan por compensar el efecto corona durante su formación. El cabezal del pararrayos está constituido por un electrodo semiesférico de aluminio soportado por un pequeño mástil de acero inoxidable. 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 en un 95 % de los casos. No incorporan ninguna fuente radioactiva 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 CEC. La instalación conduce primero hacia arriba, por el cable desnudo de tierra, la tensión eléctrica generada por la tormenta eléctrica hasta el punto más alto de la instalación.



Durante el proceso de la tormenta se genera un transporte de cargas que se concentran en la parte inferior del electrodo del pararrayos.



A partir de una magnitud del campo eléctrico natural, indiferentemente de su polaridad, el electrodo dispersa las cargas para compensar la diferencia de potencial y evitar el efecto punta. Durante el proceso de transferencia, se produce un intercambio equipotencial de la energía por debajo de la corona del pararrayos; la distribución de cargas es perimetral y proporcionalmente a la carga de la nube. Este proceso anula el efecto corona en un solo punto, evitando la generación del Líder en un 95% de los casos. El conjunto de la instalación se diseña como Sistema de Protección Contra el Rayo (SPCR), donde el motivo principal es minimizar el impacto y la formación del rayo en la zona de protección en un 95 % de los casos, para proteger a las personas, animales e instalaciones. Las instalaciones de pararrayos con tecnología CTS y CEC cubren unas necesidades más exigentes de protección, donde los sistemas convencionales de captación del rayo acabados en punta no son suficientes.

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

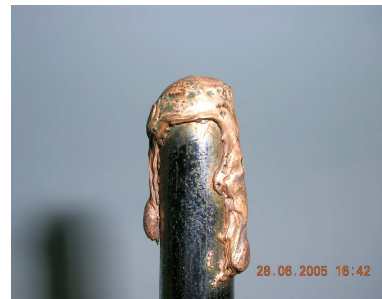
Referencias de instalaciones y laboratorios de campo.

Más de 36 instalaciones ya efectuadas están avalando su eficacia, desde los últimos tres años, algunas instalaciones de pararrayos CTS de Andorra, España y Japón, están siendo controladas por sistemas de teledetección de rayos o cámaras de alta velocidad, donde se analiza la actividad de rayos en tiempo real en un radio de 2 km.

La retirada de 13 pararrayos tipo Franklin, para instalar la nueva tecnología, confirman el cambio sobre la política de protección, donde la prioridad para el consumidor y sobre todo los grandes clientes sea; "evitar en lo posible el impacto de rayo directo" (Norma Telefónica España RA 0007).



Esta instalación está situada a 1.900 metros sobre el nivel de mar y en una zona Keráunica de máximo riesgo referente al nivel Keráunico de España, tenía instalado anteriormente, una punta Franklin, y cada año la instalación padecía averías a causa del impacto directo del rayo en la punta del pararrayos, llegando a fundir parte de la punta y causar daños materiales en la instalación incluyendo el paro completo de la producción. Desde hace tres años, la instalación está en servicio sin incidencias de rayos directas, el cliente certifica su buen funcionamiento.



Esta otra instalación de pararrayos CTS, es el repetidor principal de televisión del Cadí de la empresa TRADIA, está en zonas de máximo nivel Keráunico y con mucha actividad de rayos, situado en la Masella a 2300 metros sobre el nivel del mar.

Lleva 3 años sin impactos de rayos directos. En esta instalación se retiró un pararrayos tipo Franklin de 5 puntas, algunas puntas están fundidas y a otras les falta parte del material.

Conclusiones

El cambio climático genera 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 incluso fuera de temporadas.

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

La política de protección del rayo, tiene que cambiar, para evitar en lo posible el impacto directo del rayo en las instalaciones, para reducir en lo posible los efectos directos e indirectos a personas e instalaciones.

De lo analizado hasta ahora podemos concluir que:

1. Los impactos de rayos son aleatorios y su trayectoria es caótica con un potencial de descarga muy destructivo.
2. Los sistemas actuales de protección del rayo se tienen que adaptar al cambio climático, para garantizar una protección eficaz.
3. 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.
4. Todos los pararrayos 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 normas de pararrayos en cada país y no están adaptadas a la situación técnica necesaria de las instalaciones de alto riesgo y climatológica actual.
5. Las actuales normas de pararrayos, no cumplen con los requisitos mínimos de seguridad de las personas, según las exigencias del Reglamento Electrotécnico 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 podría evitar un gran número de incendios a causa del impacto directo del rayo en los árboles .
6. Los certificados de laboratorios de alta tensión que avalan la eficacia de los pararrayos acabados en punta, tendrían que ser sólo utilizados, como documentos de referencia técnica del fabricante, y no como aplicación en las instalaciones ya que la norma no garantiza una protección absoluta a las personas e instalaciones con estos sistemas de pararrayos, también tenemos que objetar que los ensayos de laboratorio de alta tensión no contemplan en su protocolo, toda la instalación que se define en la norma de pararrayos, cable, mástil, soportes, toma de tierra etc.
7. Vista la situación actual del cambio climático y dada la gran problemática repetida de los sistemas actuales de protección, llamados pararrayo Franklin, o PDC que tienen su principio en la ionización y captación del rayo, se

recomienda a nivel mundial su retirada o prohibir su instalación hasta que no se revisen todas las normativas concernientes a la prevención y protección de las personas contra los efectos directos e indirectos de los rayos.

8. La eficacia de un sistema de protección del rayo en el cual esté en juego la seguridad de las personas y la continuidad de los servicios o contenido de la información digital , tiene que ser demostrada, con el cumplimiento día a día en el espacio tiempo, del objetivo para el cual ha sido diseñado, “la protección del rayo “ , La aplicación, el tiempo y el estudio de los resultados en el campo de trabajo, avalarán el funcionamiento de cada sistema.

La gran pregunta que nos seguimos haciendo:

¿Por qué seguir instalando pararrayos ionizantes que atraen la descarga de los rayos a una zona que queremos proteger?.

¿No sería mejor instalar los para-rayos desionizantes para eliminar la descarga del rayo en la 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.pararrayos.org

AUTOR : ANGEL RODRIGUEZ MONTE

Cofundador de la ASOCIACION DE METEOROLOGIA DE ANDORRA Y CIENCIAS DE LA ATMOSFERA www.amaca.org

Experto en accidentes de rayos.

- ✓ **Auditorias técnicas de instalaciones de protección contra el rayo.**
- ✓ **Estudio y análisis del comportamiento en estructura.**
- ✓ **Estudio y seguimiento del funcionamiento y eficacia de un sistemas de protección del rayo , (SPCR).**
- ✓ **Análisis de protocolos normativos de laboratorio para ensayos de pararrayos.**
- ✓ **Estudio , diseño y ensayos de pararrayos en laboratorio de alta tensión.**
- ✓ **Asesoramiento TECNICO**

**El rayo es un fenómeno puramente eléctrico
Y como tal, se puede gestionar.**

INT,AR,SL. PRINCIPADO DE ANDORRA.
www.pararrayos.org

Referencias bibliográficas

- (1) Cambio climático. 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
- (3) Estudio keraunico en una zona del Principado de Andorra.
<http://www.pararrayos.org>
- (4) Exposición a campos electromagnéticos: características y restricciones para evitar perjuicios a la salud <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=597>
- (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 .
- (8) solo en Brasil mueren cien personas por año.
<http://www.terra.com.uy/canales/ciencias/25/25657.html>
- (9) Informe sobre la eficacia de pararrayos ESE, <http://www.ineris.fr>
- Redes de vigilancia de parámetros meteorológicos.
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
- Información complementaria y fotos de meteorología. www.meteored.com
- Mapa dinámico de las últimas 24 horas sobre la evolución de los impactos de rayos de toda Europa www.meteorage.fr
- 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.](http://www.instituto-nacional-de-meteorologia.es)
- 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.

INT- AR.,S.L.
Angel Rodríguez Montes
Experto en accidentes de rayos y nuevas tecnologías de protección para
protegerse del rayo.
int@andorra.ad

C/Dells Escals nº 9 301-Escaldes-Engordany AD-700, Principat d'Andorra.
Tel 00.376.0865986 , fax 00.376.865936.