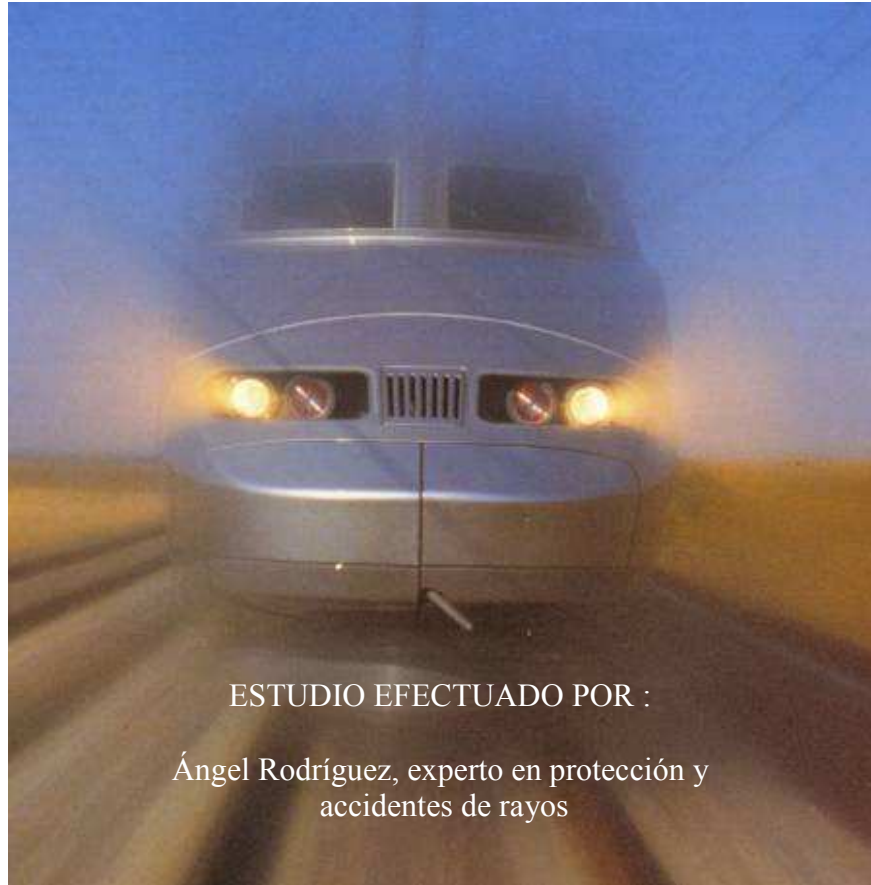




Invenció Noves Technologies A.R., S.L.  
(INT AR, S.L.)

# Estudio para la protección del rayo en vías de tren



ESTUDIO EFECTUADO POR :

Ángel Rodríguez, experto en protección y  
accidentes de rayos

## Preámbulo

La eficacia de un sistema de protección contra el rayo es aquella cuyo principio de funcionamiento sea minimizar o evitar en lo posible las descargas directas de rayos en la instalación que queremos proteger, evitando así todo riesgo de accidentes y muertes de personas, accidentes o incendio de equipos eléctricos y electrónicos, sean por tensiones de paso o diferencia de potencial durante el impacto del rayo en una estructura.

Los rayos causan numerosas averías en la red de ferrocarriles de todo el mundo. En este estudio se plantea una alternativa de protección del rayo muy diferente a lo conocido hasta la actualidad. Técnicamente, la propuesta cambia los conceptos y principios físicos de la protección del rayo; el objetivo final de esta nueva tecnología de pararrayos es compensar el efecto corona en los puntos altos de riesgo y compensar el efecto campo eléctrico de alta tensión durante las tormentas, el objetivo principal, es reducir las posibilidades de que el rayo incida en la estructura que se quiere proteger, minimizando de este modo los posibles efectos electromagnéticos directos e indirectos.

Evitar las formaciones puntas y efectos corona en las estructuras altas, favorece a la reducción y eliminación de la formación y llamada del rayo al anular el fenómeno del trazador o camino ionizado. [www.int-sl.ad](http://www.int-sl.ad)

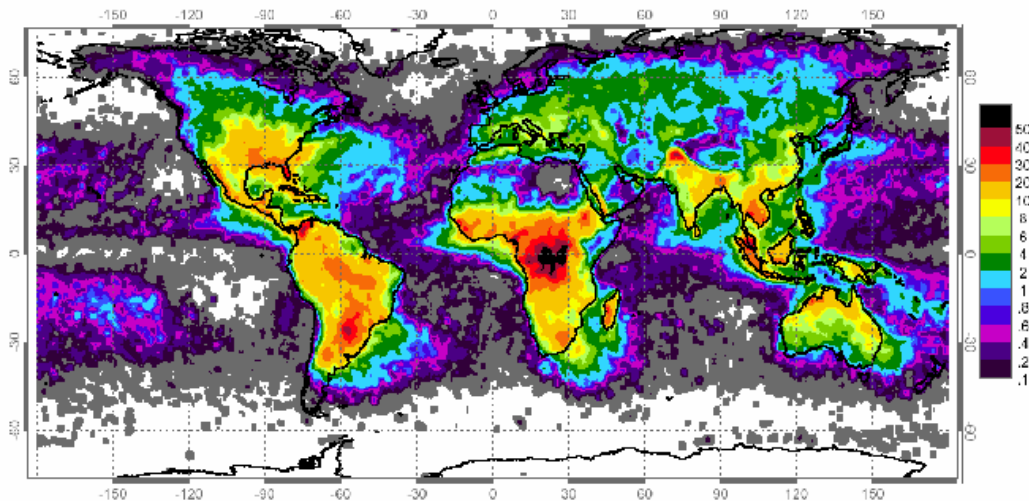
## El análisis de la situación actual

Los trazados que forman la red nacional de ferrocarriles, tienen una distribución geográfica que da prioridad a los enlaces entre poblaciones, para unirlos y facilitar el tránsito de viajeros en menos tiempo, en este sentido se han mejorado las tecnologías de transporte y aumentado la seguridad de todas las infraestructuras. La velocidad es un elemento esencial para poder cubrir trazados en un tiempo récord y para ello se han tenido que diseñar máquinas y otras tecnologías que tienen que controlar y facilitar la alimentación de energía en la catenaria, fiabilizar la comunicación rápida de los datos entre enlaces para garantizar la seguridad y control de los pasajeros en general y del sistema global del transporte en particular.



Cuando el tren se lanza a gran velocidad por esos pasillos, cruza todo el territorio independientemente de la orografía o zonas de riesgos de rayos. Durante las tormentas eléctricas, los rayos generan numerosas y diferentes averías repetidas cada año por impacto directo e indirecto. Podemos resumir varias averías típicas, desde la pérdida de señal de datos y de energía parcial, pasando por la rotura del cable por impacto directo, caída del cable por rotura del aislador, destrucción de cajas del sistemas de señalización de presencia de vehículos, además de una destrucción alta en tarjetas del sistema de control. En este sentido tecnológico y de seguridad hay que mejorar los sistemas de protección de rayo y efectuar un cambio tecnológico, donde el objetivo sea la prevención y la protección.

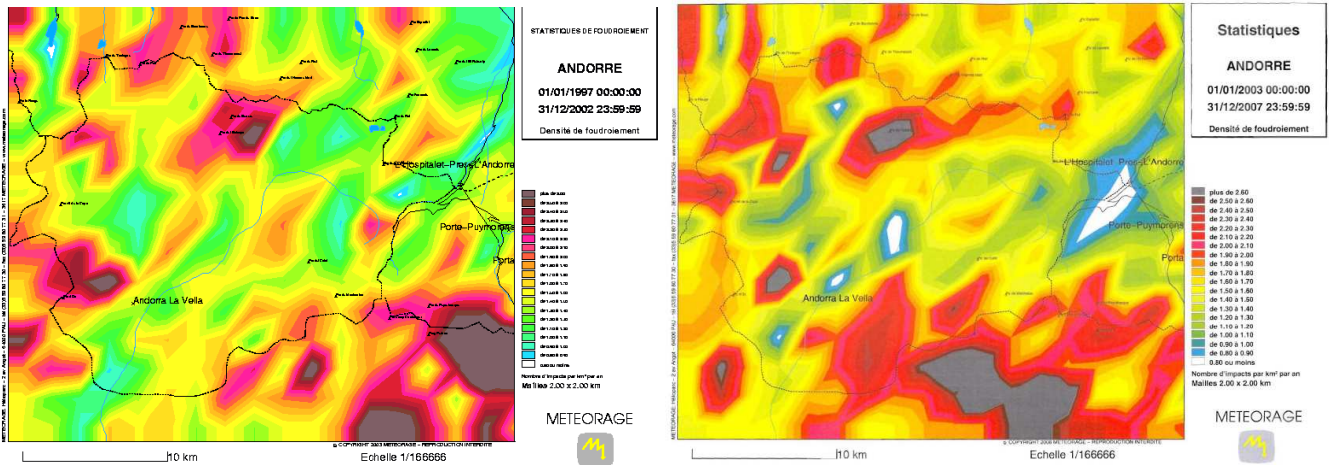
La actividad de rayos en el mundo está cambiando, las zonas de alta actividad de rayos ha bajado y las de menor ha subido, se forman tormentas eléctricas fuera de temporada y durante los meses de frío, incumpliendo este fenómeno los principios termodinámicos de la formación de nubes de tormenta, en el año 2008 y principio de 2009 aparecen tormentas eléctricas fuera de lo normal y en zonas de bajo nivel de riesgo de actividad de rayos según los mapas Isoceráunicos.



mapa Keráunico mundial.

La prevención empieza a ser una necesidad evidente, si queremos proteger a los viajeros y técnicos que utilizan y trabajan en este sector.

Como ejemplo podemos ver la diferencia de densidad de rayos, según el estudio efectuado por el INMF para INT, los dos mapas de densidad de rayos del principado de Andorra varían en cada periodo de 5 años.



los diferentes colores determinan la densidad de impactos de rayos por cada 2 km<sup>2</sup>, el estudio tiene un periodo de 5 años, desde 01/01/1997 al 30/12/2002 incluidos, y del 2003 al 2007 incluidos. Pueden descargar el estudio completo de la formación y actividad de rayos “ RAYOS NO GRACIAS “ en <http://www.int-sl.ad/descargas.php>.

## EL FENÓMENO RAYO EN LAS REDES FERROVIARIAS.

**EL RAYO** es la reacción eléctrica causada por la saturación de cargas electrostáticas 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 electrostática 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 electrostática de la zona expuesta por la nube (**sombra eléctrica**). A mayor densidad de carga de la nube, mayor inducción electrostática 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**.

**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.

**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 350.000 Amperios.

**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.

**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.

## 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 elemento o 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 a tierra pueden ser directos o indirectos

**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 circularán corrientes superiores a los 150 Amperios.

**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.

**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 una variación del campo magnético proporcional a la intensidad de la corriente de descarga del rayo.

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 como elemento flotante o 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, determinarán los valores eléctricos de acoplamiento en los equipos cercanos.

### **SOBRETENSIÓN Y TENSIONES DE PASO DURANTE EL IMPACTO DE RAYO.**

El impacto de rayos directos o cercanos 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. Los equipos que no estén conectados a la misma toma de tierra, tendrán el riesgo de que les aparezcan arcos eléctricos que saltarán entre masas de diferente potencial durante el instante de la descarga del rayo cercano.

**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 en cualquier elemento, 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.

Un 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 o cualquier elemento puesto a tierra, 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 electrólisis 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.

## **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/m<sup>2</sup> afectan al ser humano, no sólo 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, este fenómeno puede ser representado por radiaciones de gigaherzios o microondas.

## **EL ESTUDIO:**

La necesidad de mejorar el sistema actual de protección directa del rayo en las redes eléctricas de ferrocarriles de España, viene dada por las diferentes incidencias de los rayos por impacto directo o indirecto en las instalaciones o estructuras durante las temporadas de tormentas que cada año se repiten en todo el planeta.

Aunque se invierte en mejorar las protecciones de rayos en las instalaciones de ferrocarriles, éstas no son suficientes. Dispositivos como un cable de guarda para unir los postes al mismo potencial desde su punto más alto y entre ellos, sirven para mejorar y canalizar la descarga del rayo a una toma de



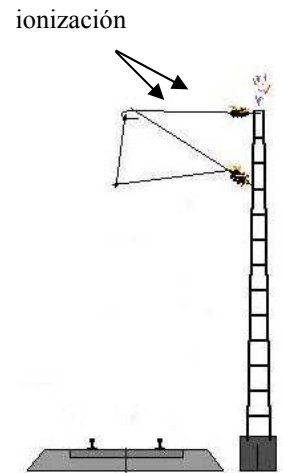
tierra más próxima y evitar así el impacto directo del rayo en el cable de transporte de energía pero no sirven para eliminar los efectos de radiación y acoplamientos electromagnéticos en los equipos electrónicos de comunicaciones y control.

Otras técnicas de mejoras se concentran en las tomas de tierra para minimizar los efectos de la tensión residual durante la descarga del rayo en la estructura o cable. La realidad es que cuanto mejores sean las tomas de tierra, más incidirán los rayos en los postes y cable de guarda y más corriente pasará en menos tiempo, creando una brusca variación del campo magnético que afectará indirectamente a los equipos, la forma estructural de las torres metálicas de las catenarias son ya un problema constructivo por adaptar su forma de pararrayos natural. En cada descarga de rayo en una estructura, ésta puede cambiar de características físicas moleculares en función de la energía que el rayo transporte afectando en la tracción y resistencia mecánica de los cables, soportes y elementos afectados directos o indirectos.

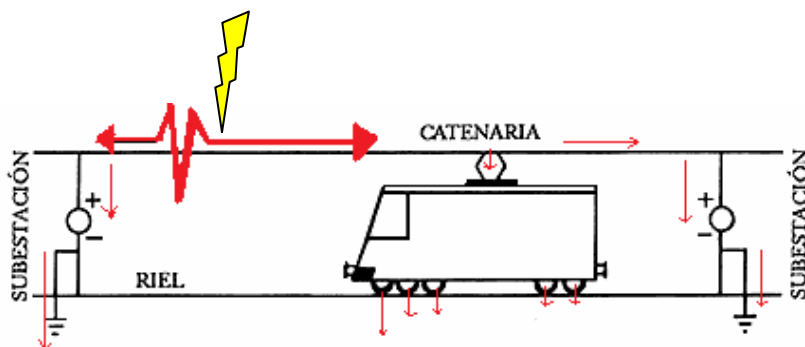
## ESTE ESTUDIO SE CENTRA EN EL TRAZADO DE LAS LÍNEAS DE TREN Y SUBESTACIONES.

- Estructura: poste abierto y subestaciones
- Altura poste : 3.60 metros.
- Tensión de transporte catenaria : 12 kV.

Es normal en días de tormentas oír el efecto corona o ionización concentrada en torres o algunos de los aisladores. A partir de una magnitud del campo eléctrico alrededor de la punta, electrodo o poste, aparece la ionización natural o efecto corona durante la aparición del campo eléctrico de alta tensión natural: son mini descargas disruptivas que ionizan el aire. Este fenómeno es el principio de excitación para trazar un camino conductor que facilitará el camino de la descarga del rayo. Durante este proceso las redes de transporte de energía aéreas datos o telecomunicaciones pueden verse afectadas por el ruido y crear errores de telecomunicación o datos. La ionización de cualquier estructura o del poste que aguanta la catenaria, varía en función de la meteorología del lugar y contaminación ambiental durante la tormenta. Esto genera un flujo de electrones que se transforma en una fuga de corriente a tierra que circula por la propia estructura metálica en ciertos momentos, y será proporcional a la intensidad y tiempo de exposición del campo eléctrico de alta tensión en tierra, superando las corrientes de fuga los 150 amperios en algunas ocasiones.



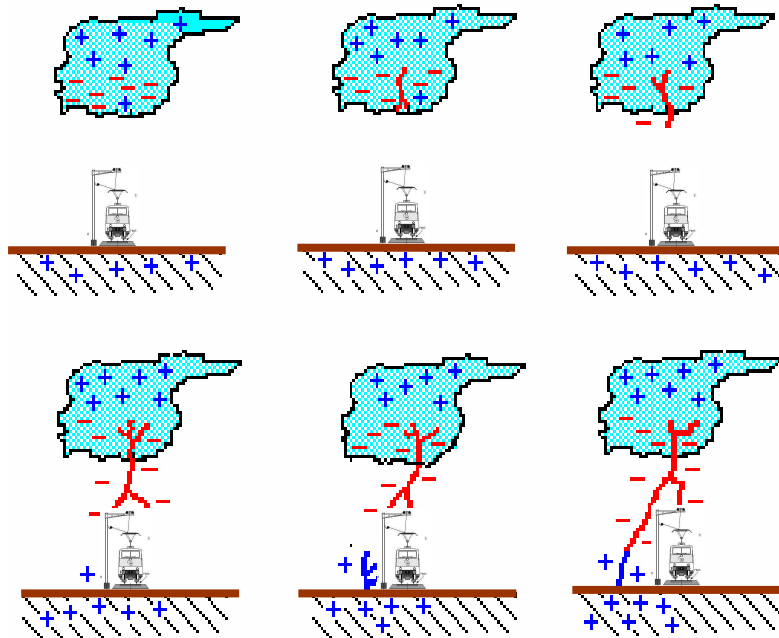
Cada impacto de rayo, genera una circulación de grandes corrientes que viaja por los cables de transporte de energía, electrodos puestos a tierra y la tierra física, creando sobretensiones en las redes, cristalización de los electrodos puestos a tierra y vitrificación del compuesto mineral de la tierra, por efecto galvánico y electrolítico.



En cada proceso de disipación de la energía del rayo a tierra, el contacto físico entre el electrodo de tierra y la tierra física, genera las pérdidas de iones en el electrodo por reacción electroquímica en función del tipo de metales expuestos a tierra (efecto pila). La descomposición de la tierra, aumenta en cada proceso de descarga de rayo y la resistencia eléctrica del conjunto electrodo/tierra aumenta peligrosamente por efecto de pérdida y oxidación de los metales, y pérdida de iones y cristalización del compuesto mineral de la tierra .



En función del tiempo de exposición al fenómeno de la ionización, se pueden apreciar en los materiales afectados, chispas diminutas en forma de luz, ruido audible a frito, radiofrecuencia, vibraciones del conductor, ozono y otros compuestos. Este fenómeno arranca una serie de avalanchas electrónicas 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 la nube y tierra o tierra y nube y se encarga de transferir, en un instante, parte de la energía acumulada; el proceso puede repetirse varias veces.



En este sentido los postes que soportan las Catenarias, pueden concentrar cargas y excitar el rayo con gran probabilidad. En realidad, el rayo sigue siendo un gran problema para las compañías ferroviarias.

La mejor protección sería evitar que la estructura ionizara el aire o evitar que el efecto del Leader se representara en ella, evitando así la llamada del rayo.



## Los riesgos eléctricos y efectos directos e indirectos sobre las instalaciones

Dado este alto nivel de posibilidades de riesgo eléctrico y de accidentes a las personas e instalaciones durante las tormentas, hemos identificado y evaluado una simulación de los riesgos eléctricos que aparecerán derivados de la posible caída de un rayo de 50.000 amperios en una instalación tipo, y con un valor de la resistencia de tierra de 10 ohmios en la instalación donde incide el rayo, a mayor resistencia eléctrica de tierra mayores efectos secundarios.

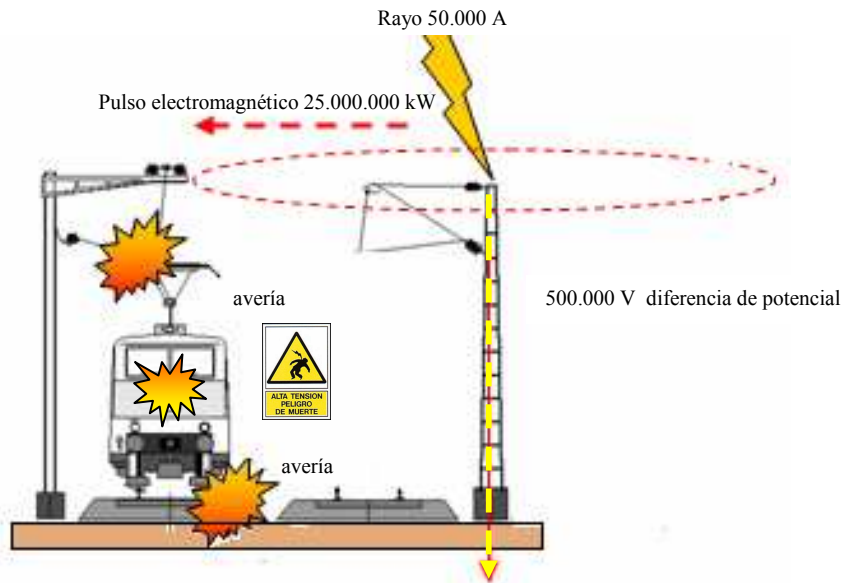
**La tensión que aparecerá en esta simulación será el resultado de aplicar la fórmula :**

$E = I \times R$ , donde (I) será 50.000 amperios, y donde (R) será de 10 ohmios .

Los valores de tensión que aparecen son de :  $E = 500.000$  Voltios. ( ALTA TENSIÓN )

**Para la radiación generada en el aire por el pulso electromagnético, la fórmula aplicada es:**

$W = (1 \square 2) \times R$ , siendo el pulso electromagnético que aparece de : 25.000.000 kW .



## Fenómenos eléctricos que aparecen durante una descarga de rayo en las instalaciones

- Carga electrostática
- Pulso electromagnético
- Pulso electrostático
- Corrientes a tierra
- Sobrevoltaje transitorio por acoplamiento: resistivo, inductivo y capacitivo.

### Las consecuencias:

Destrucción de material, envejecimiento prematuro de los componentes electrónicos sensibles, disfunción de los equipos conectados a la red con peligro de incendio y paro de la producción de energía y del tren.

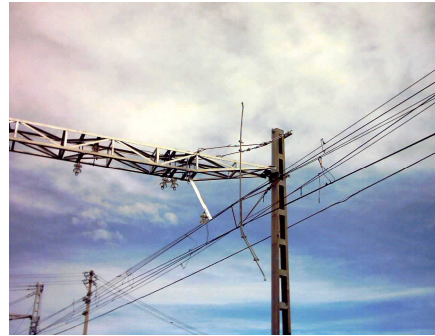
Durante la descarga del rayo se generan inducciones y acoplamientos en líneas de transporte eléctrico y de comunicaciones. Todos los equipos electrónicos sensibles que se encuentren dentro de un radio de acción de 1.500 metros pueden estar afectados por una sobretensión inducida.

En función de la intensidad de descarga del rayo, las tomas de tierra no llegan a absorber la totalidad de la energía descargada. Este fenómeno puede generar tensiones de paso peligrosas en las instalaciones que no estén preparadas al efecto.

Durante la descarga del rayo, en menos de 1 segundo, la energía que circula por los cables viaja en busca de una baja resistencia eléctrica de tierra. El efecto de la descarga genera retornos eléctricos en las instalaciones a través de los mismos cables y de las tomas de tierra.

## LAS AVERÍAS MÁS COMUNES EN LAS INSTALACIONES

Cuando el impacto del rayo es directo en los cables, la corriente viaja aguas arriba y aguas abajo, el tiempo y distancia de descarga es proporcional a la intensidad del impacto de rayo que se acopla en los cables de datos y antenas. Los equipos más afectados directamente son los cables, soportes, aisladores y cuadros de maniobras, y los efectos se transforman en destrucción del material donde impacta el rayo directo, caída del cable a tierra, incendio del armario eléctrico de maniobras, paro de la señal de maniobra por rotura de componentes electrónicos, etc, y como efecto indirecto, pérdida de la señal de telecomunicaciones, fallo en señales de semáforo, avería en autómatas de comulación de agujas, etc.



En el caso de impacto de rayo directo en el poste, gran parte de la corriente fluye directamente por la propia estructura a tierra en función de la resistencia de la toma de tierra y se distribuye por los postes laterales por medio del cable de guarda. Si la intensidad del rayo es superior a la masa de disipación de la torre y resistencia eléctrica de la toma de tierra, los aisladores del cable pueden sufrir una descarga de tierra a línea y en función de la transferencia de energía, el aislador se podrá romper.

### RIESGOS QUE APARECERÁN EN CASO DE IMPACTO DE RAYO:

**Los riesgos que las personas pueden padecer directamente o indirectamente serán:**

- Electrocución por choque eléctrico causado por contacto eléctrico con elementos metálicos.
- Quemaduras por choque eléctrico directo o por arco eléctrico indirecto.
- Traumatismos por caídas o golpes como consecuencia del agarrotamiento muscular del choque eléctrico leve o arco eléctrico.
- Muerte por incendios o explosiones originados por diferentes efectos eléctricos directos o indirectos.

**Los riesgos que pueden padecer las instalaciones directamente o indirectamente serán:**

- Destrucción parcial de equipos electrónicos por arco eléctrico entre masas metálicas.
- Destrucción total de equipos electrónicos por alta tensión en el suministro.
- Destrucción parcial de equipos electrónicos por campos magnéticos variables.
- Destrucción total de equipos eléctricos y electrónicos por radiación de alta frecuencia.
- Incendio o explosión en la nave por destrucción de equipos electrónicos.
- Incendio o explosión de la nave por chispas entre diferentes metales.

## **Datos analizados para el estudio de protección.**

En la visita de la instalación, se toman los datos que pueden afectar a la estructura a proteger, utilizando diferentes parámetros para evaluar el riesgo de impacto de rayo sobre el edificio o estructura. El análisis posterior de los datos sirve para proponer alternativas de protección del rayo que se utilizarán para reducir o anular su influencia directa o indirecta de impactos de rayos.

### **Información Topográfica:**

En todos los casos, las coordenadas geográficas, altitud y características topográficas de la zona donde se ubican, son de relevante importancia, pues en el caso de los postes, son elementos captadores naturales por sus características propias, son metálicos, están conectados a tierra y e eléctricamente entre sí por un cable conductor de tierra. Es decir, tienen una mayor posibilidad de ser impactadas por el rayo en donde se ubiquen geográficamente.

### **Información Urbanística:**

La situación estratégica de la estructura o edificio a proteger, es necesaria para conocer qué efectos indirectos o influencias negativas podemos adquirir o generar. En el caso de los postes que soportan la catenaria, su situación cerca o dentro de núcleos de población es esencialmente peligrosa, cuando hablamos de una descarga de rayo en la estructura metálica. Los efectos indirectos que puede ocasionar el rayo, afectarán indirectamente por tensiones de paso y pulso electromagnético a las instalaciones cercanas, incluso por retornos de la tierra física en función de la intensidad de descarga del rayo. Durante la descarga del rayo en la estructura de la torre, circularán grandes intensidades de corriente. En estos casos la toma de tierra de la instalación impactada tiene que garantizar una correcta disipación a tierra en menos de un segundo. En este caso, la importancia de evitar el impacto del rayo en los postes es de una necesidad evidente para evitar repercusiones mayores en zonas urbanizadas o con acceso a personas y esencial en las subestaciones para garantizar el suministro de la red.

### **Información propia del edificio:**

Uso, características volumétricas, tipo de estructura y de cubierta, son esenciales para conocer como tendremos que actuar para poder acceder y situar los equipos de protección. Posiblemente nos encontraremos con diferentes joyas arquitectónicas o estructuras faraónicas, todo aquel que quiera implantar un sistema de protección de rayos en sus instalaciones, tiene derecho a pedirlo. Por ello, es necesario trabajar en lo posible durante la creación del proyecto, para asesorar a los maestros arquitectos que ponen su creatividad en el diseño tecnológico para demostrar su capacidad tecnológica. Es importante, a veces, recordar que toda estructura puede ser impactada por un rayo, aunque ésta sea de madera o de cera. En el caso de los postes, no tenemos mucho que decir, lo importante es que el poste es metálico y tiene una resistencia eléctrica tan baja que no necesita ningún conductor eléctrico para comunicar el pararrayos con la toma de tierra. Gracias a la cantidad y densidad de material con propiedades eléctrico / conductoras, que lo convierten perfectamente en conductor eléctrico y disipador térmico .

### **Determinación de la densidad de impactos de rayo :**

La densidad de impactos de rayo sobre el terreno define una zona de riesgo Keraúnico, y se expresa en número de rayos por km<sup>2</sup>. La zona de riesgo se determina mediante la utilización del nivel keraúnico local en un plano de referencia que nos orientará de la posibilidad de rayos. Según la situación de la estructura y su nivel de referencia, es aconsejado efectuar estudios particulares de cada zona para reconocer la densidad de rayos de los últimos 5 años y analizar la intensidad de los impactos.

## **MEMORIA DE CÁLCULO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS ELÉCTRICOS.**

Este estudio de riesgo se basa en la Ley 31/1995, del 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales. BOE nº 269, del 10 de noviembre y el real Decreto RD 614/2001 del 8 de junio. BOE del 21 de junio sobre Disposiciones mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores frente al riesgo eléctrico.

El nivel de riesgo se estima en función de la PROBABILIDAD y de las CONSECUENCIAS esperadas de accidentes, en este caso de accidentes causados por los rayos en la instalación que queremos proteger, a partir del análisis de los datos recibidos, se simula el impacto de rayo y sus probables consecuencias.

### **ESTUDIO DE PROBABILIDAD DE ACCIDENTE**

El nivel de probabilidad de que ocurra un accidente por causa de un rayo, se determina según los daños que éste puede ocasionar a las personas e instalaciones cuando aparezca:

<b>Probabilidad</b>	<b>Accidente</b>
- Alta (15)	el daño tendrá lugar siempre o casi siempre.
- Medio (10)	el daño tendrá lugar en algunas ocasiones.
- Baja (5)	el daño tendrá lugar raras veces.

### **ESTUDIO DE CONSECUENCIAS**

La consecuencia del accidente dependerá de las partes del cuerpo afectadas y de la naturaleza del daño causada por el rayo en las personas, y del paro de la actividad laboral en la industria, siendo:

**Ligeramente perjudicial (LP-5):** se consideran daños superficiales (cortes, pequeños golpes,...), molestias e irritación. Puede dar lugar a una baja por accidente o enfermedad no superior a 3 días. En el caso de la instalación, destrucción de componentes o equipos que no significan el paro de la actividad laboral ocasional.

**Perjudicial (P-10):** incluye laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos y enfermedades que lleven a una incapacidad menor. Puede dar lugar a una baja por accidente o enfermedad con una duración de entre 3 y 30 días.

En el caso de la instalación, paro parcial o total de la industria que puede afectar a la actividad laboral temporal.

**Extremadamente perjudicial (EP-15):** incluye amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales, cáncer y otras enfermedades crónicas que acorten severamente la vida. Puede dar lugar a una baja por accidente o enfermedad con una duración superior a 30 días. En el caso de la instalación, incendio y explosión que puede afectar al paro definitivo de la actividad laboral.

## **DATOS ANALIZADOS**

### **VALOR DE RIESGO**

- **NIVEL KERÁUNICO E IMPACTOS DE RAYOS.**
- **INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE LA INSTALACIÓN.**
- **HAY UN PARARRAYOS INSTALADO EN LA ACTUALIDAD.**
- **D. DATOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.**

### **NIVEL DE RIESGO.**

Según el estudio de riesgos que pudiese causar un rayo en las instalaciones analizadas y aplicadas a la prevención de riesgos laborales y disposiciones mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los Trabajadores frente al riesgo eléctrico de rayo, determinamos que la instalación, tiene un nivel de riesgo de rayos :

**Probabilidad de impacto de rayo;** medio

**Consecuencias:** En caso de impacto directo del rayo, las consecuencias serán extremadamente perjudiciales, con una posibilidad alta de electrocución y destrucción de componentes eléctrico, incendio y explosión.

### **ACCIONES A REALIZAR**

Una vez estimado el nivel de riesgo, se le deben asignar unas acciones correctivas de mejoras y de prevención contra el rayo, realizando una instalación de protección directa e indirecta del rayo, para reducir los riesgos eléctricos a personas e instalaciones.

A continuación resumimos una memoria técnica de necesidades para tal efecto.

## Memoria técnica

### Qué proponemos: Protección de postes.

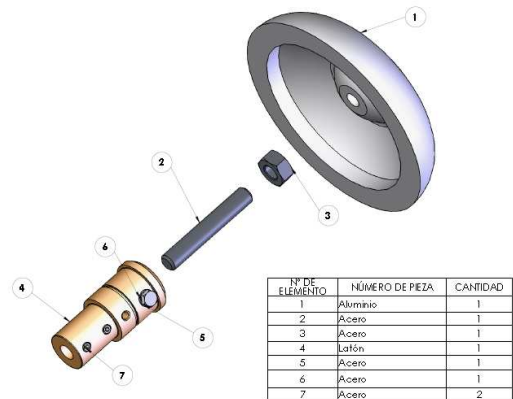
Los cables aéreos siguen y seguirán siendo una antena que se acoplará en función de la intensidad de radiación del impacto de rayo cercano. Por ese motivo podemos proponer solamente proteger del impacto directo del rayo en los postes en un 90 a 95 % de los casos con pararrayos CEC, es decir, podemos garantizar la reducción de los impactos directos de rayos en los postes de la red, quedando la posibilidad que en un caso extremo, la descarga se produzca. En ese momento el pararrayos CEC se comportará como un pararrayos convencional transfiriendo toda la corriente a tierra por la estructura.



### Qué es un pararrayos CEC.

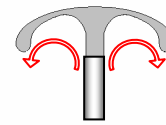
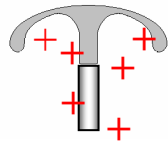
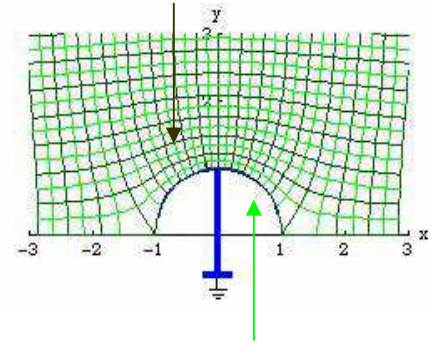
Los pararrayos CEC (Compensador Efecto Corona): se caracterizan por compensar el efecto **corona** durante su aparición, re-distribuyendo las cargas equitativamente en su corona inferior, evitando así la creación de trazadores por efecto punta en la parte alta.

El cabezal del pararrayos CEC está constituido por un electrodo semiesférico de aluminio especial, soportado por un pequeño mástil de acero inoxidable. Está conectado en serie con la propia toma de tierra para acelerar la transferencias de cargas entre la tierra y la atmósfera o viceversa.



El efecto reduce la posibilidad que el trazador se genere en un 90 a un 95 % de los casos. No incorporan ninguna fuente radioactiva para ello.

Su principio de funcionamiento: se basa en canalizar por la toma de tierra la diferencia de potencial entre la nube y el cabezal del pararrayos CEC. Durante el proceso de la tormenta se genera 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 evitar el efecto punta. Durante el proceso de transferencia, se produce un intercambio por debajo de la corona del pararrayos. La distribución de cargas es perimetralmente y proporcional a la carga de la nube; este proceso evita la generación del Leader entre un 90 y 95 % de los casos.



El objetivo del 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, para proteger a las personas, animales e instalaciones.

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

### **Detalles técnicos de instalación de los pararrayos CEC:**

#### **Fijación:**

Los pararrayos CEC se fijan por medio de un eje en la parte superior de cada estructura (ver plano).

#### **Cable eléctrico de bajada:**

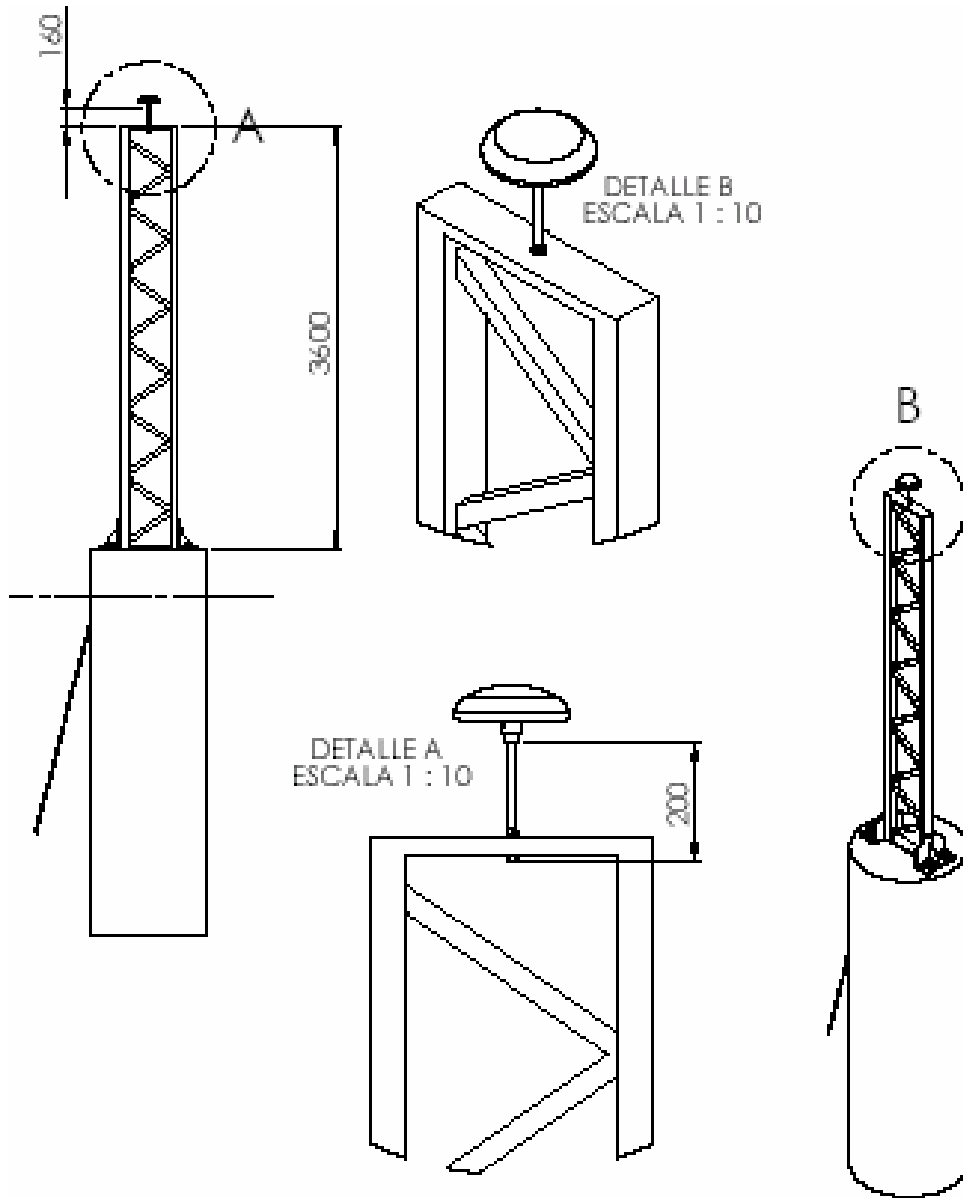
Al ser la estructura metálica y ofrecer un valor de resistencia eléctrica inferior al de un cable de cobre, ésta sirve perfectamente de conductor eléctrico referente a tierra. En caso de descarga de rayo, la estructura metálica conducirá perfectamente distribuida toda la energía del rayo a tierra.

#### **Tierras y equipotencial:**

Los pararrayos CEC tienen que estar conexiónados a una tierra eficaz y unidos entre ellos para garantizar un equipotencial. La configuración del cable de guarda que une las torres entre sí ya sirve para el efecto, no siendo necesarios cables suplementarios.

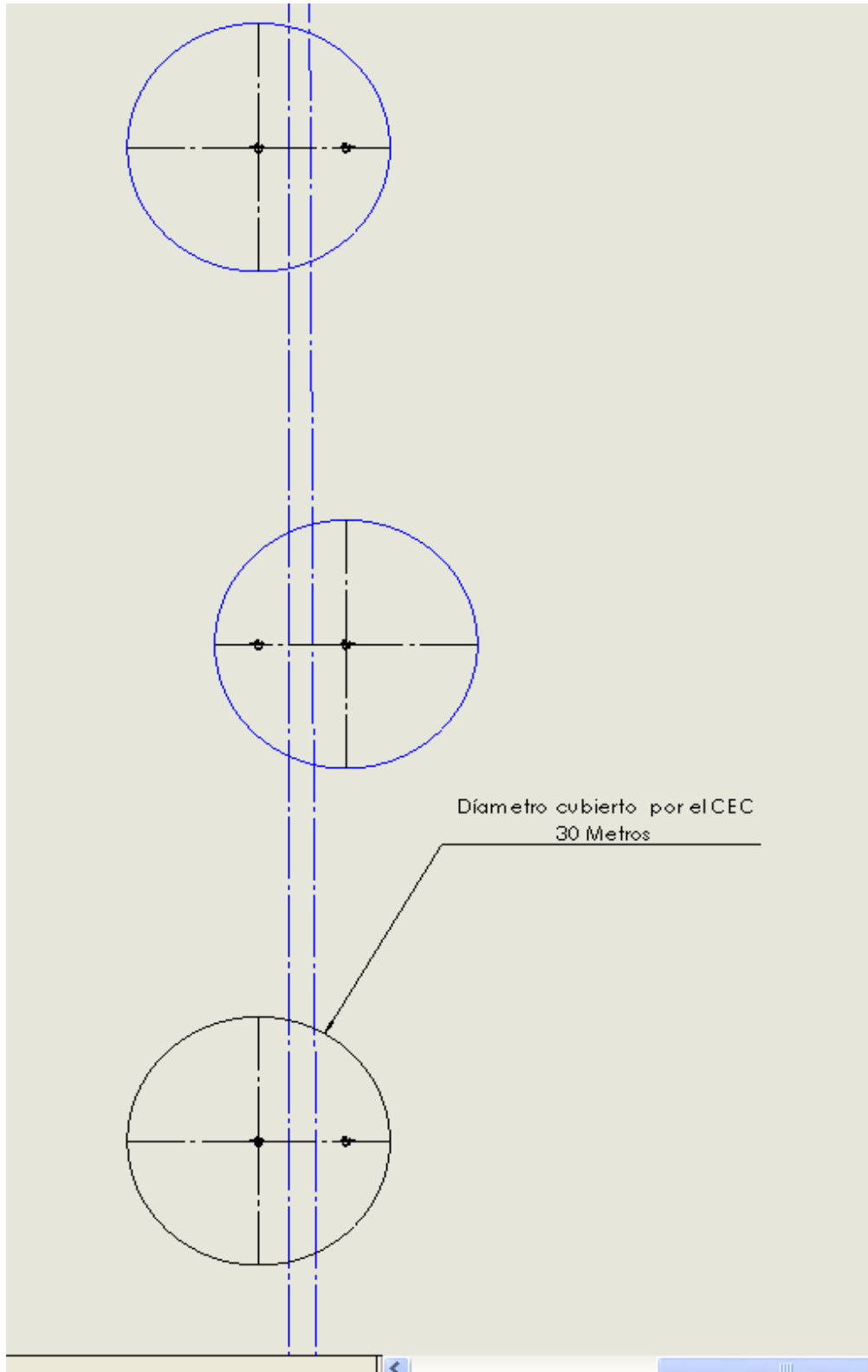
A nivel de tomas de tierras, se puede utilizar la misma tierra existente del proyecto actual.

**Colocación de un pararrayos CEC en un poste estándar :**



### Distribución de pararrayos CEC en la trazada :

Se instalarán los pararrayos CEC intercalando un poste sí y otro no, de ida que coincidirá con un poste no y otro sí de la vía paralela de retorno.



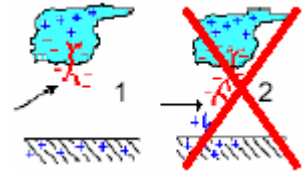
## Protecciones de subestaciones y otros edificios administrativos y públicos:

Dadas las características de cada edificio o subestación, podemos garantizar una protección eficaz de protección de NO RAYOS, con un sistema de protección de rayos, compuesto por una instalación de pararrayos PDCE. Los cables aéreos, siguen y seguirán siendo una antena que se acoplará en función de la intensidad de radiación del impacto de rayo cercano, por ese motivo se aconseja enterrar las líneas aéreas de telecomunicaciones y red eléctrica cercano a la zona de protección.

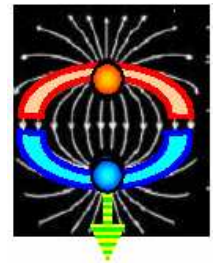


### Qué es un pararrayos PDCE .

**Definición:** 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. 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.

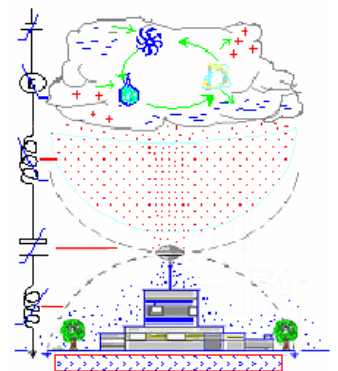


Durante el proceso de la tormenta se genera un campo de alta tensión en tierra que es proporcional a la carga de la nube y su distancia de separación del suelo. A partir de una magnitud del campo eléctrico natural en tierra, la instalación equipotencial de tierras del pararrayos, facilita la transferencia 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 (si el campo eléctrico de alta tensión se representa). 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 Leader). 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 caída 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.



## **Detalles técnicos de instalación de los pararrayos PDCE :**

### **Situación :**

El pararrayos se situará en el punto más alto de la instalación que se tiene que proteger, al menos dos metros por encima de todo saliente, predominando por encima de ellos, incluido antenas, torres de enfriamiento, techos, depósitos, etc.

### **El mástil.**

Tendrá que ser de estructura metálica, anclada su base para garantizar un equipotencial perfecto con la toma de tierra eléctrica existente.

### **El conductor eléctrico.**

Estará fijado al mástil por medio de un terminal o soldado a la estructura metálica en su base, aprovechando la estructura metálica como conductor si ésta tiene una masa de metal superior a la del cable conductor y su resistencia eléctrica es inferior a él, la sección mínima será de 35 mm<sup>2</sup> en cobre desnudo electrolítico.

### **Trayectoria del conductor eléctrico.**

El conductor eléctrico bajará por toda la instalación hasta el punto más cercano de la toma de tierra o su más baja resistencia. Su recorrido será lo más directo posible, evitando cualquier acodamiento brusco inferior a 20 cm. de radio o remonte de cable; las fijaciones del cable conductor se instalarán tomando como referencia como mínimo 3 fijaciones por cada metro.

Las conexiones entre conductores se soldarán y protegerán contra la corrosión con productos para el efecto.

En las zonas donde el cable puede estar propenso a roturas mecánicas o vandalismo, será aconsejado proteger el cable con un tubo metálico, por ejemplo: en zonas transitadas por personas externas a la instalación o paso de coches, se procederá a colocar el cable eléctrico de tierra, dentro de un tubo, desde el suelo a 2 metros de altura.

### **La toma de tierra.**

En lo posible, la toma de tierra estará alojada en un registro con un sistema que permita desconectarla para efectuar las mediciones de su resistencia periódicamente; la resistencia de la toma de tierra tendrá que ser inferior a 10  $\Omega$ , y es de obligado cumplimiento, la unión equipotencial de las diferentes tomas de tierra del pararrayos con el resto de las tierras eléctricas y de las estructuras metálicas existentes.

## **MANTENIMIENTO PARARRAYOS PDCE Y PUESTA A TIERRA.**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO.** Las instalaciones de pararrayos están diseñadas para un objetivo concreto, la protección de las personas, animales e instalaciones. Las necesidades técnicas y de funcionamiento de cada instalación, obligan a situar todos los equipos y parte de la instalación en el exterior de la estructura o edificio a proteger y colocar la puesta a tierra en diferentes lugares en cada proyecto. La situación geográfica de cada instalación es aleatoria e implica estar expuesta a diferentes fenómenos meteorológicos y cambios climáticos permanentes durante cada año. Los materiales expuestos pueden sufrir deterioro involuntario por parte del fabricante, instalador o usuario.

Por ese motivo es de obligado cumplimiento efectuar una revisión periódica del conjunto de la instalación, para verificar su estado y la continuidad del buen funcionamiento de la protección de rayos y garantizar su eficacia de funcionamiento. El protocolo de mantenimiento será cumplido en su totalidad y rigurosamente en cada revisión anual; se efectuará un informe de su procedimiento por el instalador oficial, según los documentos del fabricante. Cada informe de revisión será avalado con la firma del cliente, donde constarán las incidencias o averías si las hubiese.

### **PROTOCOLO DE MANTENIMIENTO.**

**El periodo de revisión:** ANUAL

#### **Procedimientos de mantenimiento:**

##### **Puesta a tierra:**

- Se procederá a efectuar diferentes medidas de la resistencia del conjunto puesta a tierra de la instalación, para tomar las medidas oportunas de mejora.
- Se procederá a verificar la continuidad de las conexiones eléctricas y su nivel de corrosión para tomar las medidas oportunas de corrección.
- Se procederá cada 4 años a desenterrar los electrodos para la revisión de la pérdida de material, corrosión o cambio si fuera necesario.

##### **Conductores eléctricos:**

- Se verificarán el nivel de corrosión o roturas de los soportes o grapas de los cables eléctricos, en caso de necesidad se cambiará por uno nuevo.
- Se verificará la continuidad y resistencia eléctrica entre la toma de tierra y el pararrayos y se tomarán medidas de corrección o cambio.

##### **Mástil:**

- Se revisará el estado de aguante mecánico de los soportes o fijaciones del mástil que soporta el pararrayos y se procederá a cambiar o mejorar en caso necesario.
- Se verificará la corrosión de los soportes o fijaciones para su limpieza y pintura.

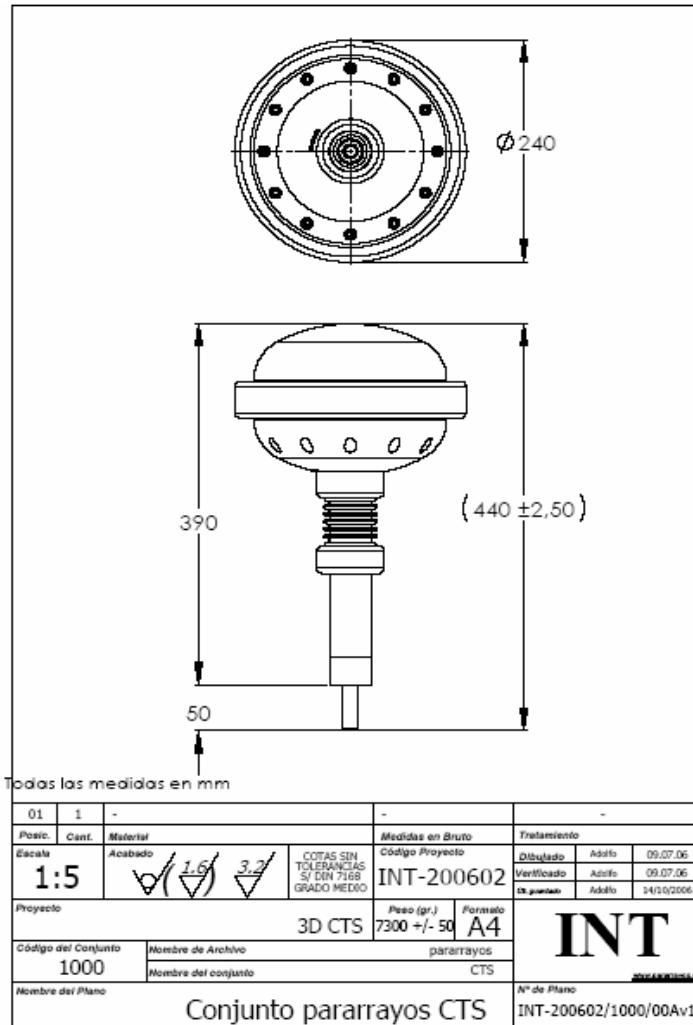
##### **Pararrayos :**

- Se verificará el estado de corrosión de las conexiones eléctricas del cable de tierra y del conjunto del pararrayos y se procederá a efectuar las mejoras necesarias.
- Se verificará el estado mecánico del pararrayos. En caso de rotura se comunicará al fabricante para la previsión de cambio estándar en garantía.

## **FICHA TÉCNICA PRODUCTO: PARARRAYOS PDCE**

- **DEFINICIÓN:** Pararrayos Desionizador de Carga Electrostática (PDCE), definido también como Sistema de Protección Contra el Rayo (SPCR), que utilizan como principio el de la transferencia de carga “CTS”, (siglas en inglés Charge Transfer System ).
- **MODELO:** PDCE
- **RADIO DE COBERTURA:**  
120 metros de radio, según el estudio de cada estructura y de la actividad de rayos.
- **EFICACIA DE PROTECCIÓN:** 99 % de reducción de impactos de rayos, directos en las estructuras protegidas.
- **APLICACIONES:**  
Todo tipo de construcción o estructuras, incluyendo ambientes con riesgo de incendio o explosión, como sistema de protección colectiva contra el rayo a personas, animales e instalaciones.
- **MATERIALES QUE SE COMPONE:**  
Aluminio, Inoxidable, Metacrilato y Nylon. No contiene componentes electrónicos ni metales pesados ni radioactivos. Cumple las normativas RoHS.
- **PESO/MEDIDAS DEL PARARRAYOS:**  
Peso: Pararrayos 7,339 Kg., Caja 3,374 Kg., Peso total embalaje + pararrayos 10,713 Kg.  
Medidas: Pararrayos 240 x 440 mm., Embalaje 458 x 260 mm., fabricado en chapa de acero
- **MARCAJE CE:**  
Directivas 2001/95/CE (Seguridad de producto).  
Directivas 92/31/CEE (Compatibilidad Electromagnética).  
Directivas 73/23/CEE (Equipo de Baja Tensión).
- **CERTIFICACIONES Y NORMATIVAS:**  
***Sistema de Gestión Integrado de calidad y medioambiental*** según las normas internacionales [ISO 9001](#) e [ISO 14001](#), aplicado a: diseño, comercialización, gestión, montaje y ensamblaje de pararrayos desionizantes y tomas de tierra inteligentes. Estudios de necesidades técnicas de acuerdo con la normativa de prevención de riesgos laborales.  
***Producto certificado*** para la prevención y protección colectiva del rayo a personas e instalaciones con nº de certificado 8002300 a nivel mundial por BUREAU VERITAS Certificación.  
***Prevención de Riesgos laborales*** de acuerdo a la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, BOE nº 269, de 10 de noviembre y el Real Decreto RD 614/2001 de 8 junio, BOE del 21 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico  
***Compatibilidad Electromagnética*** de acuerdo a EN 61000-6-(1,2,3,4 ):2002, y desde EN 61000-4-2 a EN 61000-4-9, EN 55011 a EN 55015 y EN 55022. (Homologas a las normativas IEC)  
***Ensayos Comparativos Alta Tensión*** de acuerdo a NFC-17100/UNE, 21.185, NFC-17102/UNE-21.186, donde la diferencia comparativa es que no aparecen descargas de rayos.
- **FABRICADO POR:** INT, A.R., S.L. en el PRINCIPADO DE ANDORRA.
- **MANTENIMIENTO:** Anual, efectuado y certificado por el instalador oficial.
- **PRODUCTO ASEGURADO EN:** AXA-WINTERTHUR “Defecto de fabricación”  
Con la póliza nº RC-051-00928416. Valor de daños cubiertos, 600.000,00 Euros.
- **GARANTÍA DE PRODUCTO:**  
10 AÑOS de garantía por defecto de fabricación, justificando el mantenimiento anual

**PLANO EQUIPO E INSTALACIÓN TIPO.**



El comité de selección del [XXVIII TROFEO INTERNACIONAL A LA TECNOLOGÍA Y CALIDAD](#), a concedido a INVENCIO NOVES TECHNOLOGIES, AR, S.L. (INT) con el galardón 2007, por su capacidad de innovación, que le permite estar en la vanguardia y en la calidad de sus productos y servicios .

[INT AR SL](#) queda a su entera disposición para enviarle una oferta económica personalizada y para cualquier aclaración complementaria, gracias.

Ángel Rodríguez Montes  
Director Gerente

