

EL SISTEMA DE INHIBICIÓN DE LA FORMACIÓN DEL RAYO DESARROLLADO Y PATENTADO POR PROTOTAL



Información técnica

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN

II.- ¿POR QUÉ SE PRODUCE EL RAYO?

II.1 Carga eléctrica del rayo

II.2 Procesos de descarga del rayo

III.- ¿NOS PODEMOS PROTEGER?

IV.- SISTEMA DE INHIBICIÓN VERSUS PROVOCACIÓN

IV.1 Aspectos de interés

IV.2 Conceptos básicos: transparencia de los aparatos

IV.3 Potencial de activación

- IV.4 Máximo potencial que admite el filtro
- IV.5 Tiempos de actuación

V.- ESTUDIO DEL INHIBIDOR DE RAYOS PROTOTAL

- V.1 Descripción estructural
- V.2 Posibilidades de funcionamiento
- V.3 Funcionamiento real del Inhibidor
- V.4 Descarga del condensador

VI.- CONCLUSIONES

- VI.1 Respecto al cabezal aéreo
- VI.2 Respecto a la evacuación del condensador

VII.- SINTESIS DEL SISTEMA PROTOTAL

- VII.1 Resumen para el lector con prisa

VII.- ALGUNAS INSTALACIONES REALIZADAS EN ESPAÑA Y EN EL PRINCIPADO DE ANDORRA

I.- INTRODUCCIÓN

^

Los fenómenos atmosféricos naturales como las descargas eléctricas, cuyos efectos más conocidos son, el rayo y el trueno, pueden causar graves daños a las personas y bienes. Los más comunes ocasionados a los edificios o a su contenido son normalmente incendios, rotura de estructuras, y las cuantiosas pérdidas ocasionadas por la interrupción de la actividad empresarial.

A la responsabilidad de todo directivo lo mencionado anteriormente le preocupa y le genera la imperiosa necesidad de buscar la solución más óptima y adecuada que elimine al máximo este tipo de problemas.

PROTOTAL, sensible a tal necesidad, propone un sistema global e innovador de protección fruto de un profundo estudio de sus desarrollos y productos.

Más de un millón de caídas de rayos cada año se producen en España, ocasionando pérdidas de varios millones de euros. (figura 1)



Figura 1: Niveles de tormenta en España.

La caída de un rayo origina básicamente tres tipos de problemas:

1ª.- Si impacta directamente sobre la estructura de un edificio sin protección provoca accidentes como electrocución de seres vivos, incendios, rotura de las edificaciones, destrucción de las instalaciones eléctricas y equipos a ellas conectados, motores, maquinaria, sistemas informáticos, comunicaciones e interrupción de las actividades empresariales, etc.

2ª.- Si impacta sobre un cable aéreo de suministro de energía, produce una importante sobretensión que se distribuye por todas las instalaciones eléctricas provocando la destrucción de los equipos eléctricos y electrónicos conectados a las mismas.

3ª.- El propio conducto del rayo, a la vez puede considerarse como una inmensa antena que une la nube con la tierra, emitiendo una fuerte radiación electromagnética que será captada por los conductores de energía y por los equipos de telecomunicaciones que se encuentren dentro del radio de acción de la antena, transformándose la radiación recibida en una sobretensión de energía conducida. Todo ello contribuirá a que se ocasionen daños y destrucciones.

Siendo la señal utilizada en los aparatos electrónicos de poca magnitud, hace que cualquier perturbación electromagnética, por mínima que sea, impida el correcto funcionamiento, pudiendo causar daños irreparables en los sistemas de seguridad, anti-incendios, proceso de datos, etc.

Ello evidencia la necesidad de protegerse contra este fenómeno atmosférico aplicando el sistema de protección más eficaz existente, ya que repercute directamente en favor de la seguridad de las personas y en el buen funcionamiento de los equipos e instalaciones de cualquier tipo.

El Sistema de Inhibición de rayos está basado en unos sólidos fundamentos físicos teórico prácticos que garantizan la eficacia y fiabilidad del mismo.

Dada la novedad del sistema de inhibición de rayos no es fácil encontrar literatura sobre el mismo, por lo que para facilitar su comprensión **PROTOTAL** presenta la descripción de los principios básicos del funcionamiento del innovador Sistema de Inhibición, en una forma simplificada, intentando que sea lo más comprensible posible, ya que los fenómenos que intervienen son muy complejos.

II.- ¿POR QUÉ SE PRODUCE EL RAYO?

^

II.1 Carga eléctrica del rayo.

El gradiente eléctrico en la atmósfera, con el cielo despejado, es del orden de 100V/m, debido al campo eléctrico producido por las cargas negativas que normalmente existen en la superficie terrestre. En situación tormentosa, las variaciones de presión y temperatura en la atmósfera dan lugar a la formación de cumulonimbus, cuya columna central puede alcanzar más de 15.000 m. Cuanto más alta sea la columna del núcleo de la nube, más frecuente será el rayo. Para ser capaz de generar un rayo, dicha columna interna necesita superar los 3.000 m de altura.

Existen diversas y complejas teorías para explicar el mecanismo real de la separación de cargas, pero ninguna desvela con exactitud qué empuja las cargas dentro de la nube tormentosa. En la columna central del núcleo del cumulonimbus existen corrientes ascendentes con velocidades superiores a 120 Kms/h que separan las cargas eléctricas que originan la descarga del rayo. Por estudios sobre la lluvia se sabe que la precipitación fina adquiere una carga eléctrica positiva, mientras que partículas más grandes adquieren una carga negativa. El fuerte desplazamiento de aire en la columna interior del cumulonimbus separa estas cargas empujando las partículas más finas

(positivas) hacia las zonas altas. La carga negativa más pesada permanece en la base de la nube. A medida que se separan las cargas, las diversas zonas de la nube se cargan tanto, que las fuerzas eléctricas originan cada vez más y más fragmentos cargados (figura 2).

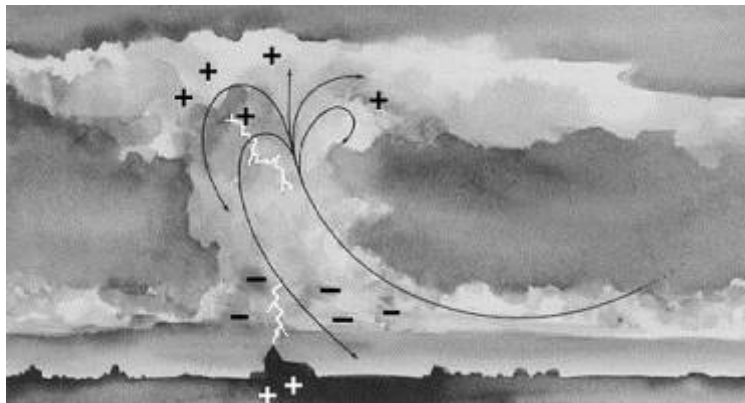


Figura 2: Dentro de una nube de tormenta las cargas eléctricas se separan. Los vientos cálidos arrastran las cargas positivas hacia arriba, dejando la base de la nube cargada negativamente. La atracción entre la tierra y las cargas negativas de la base de la nube crea el rayo, una corriente breve de cargas negativas que viaja de la nube a tierra.

Como la tierra tiene muchas menos cargas negativas que la base de la nube situada encima, se genera una atracción entre ambas cargas. Por lo tanto, los electrones liberados cerca de la nube son atraídos hacia la tierra. A medida que se van moviendo estos electrones chocan con moléculas de aire que encuentran en su camino, rompiendo sus enlaces (ionizándolos) y creando así más fragmentos cargados. Estos nuevos fragmentos son arrastrados hacia la parte inferior junto con los electrones originales, creándose el efecto de avalancha eléctrica. Los iones positivos dejados atrás crean una nueva atracción al conjunto de electrones hacia la nube. A su vez más electrones continúan liberándose en la nube arrastrando hacia la base a los que pretendían subir. Este proceso de freno y aceleración se repite continuamente, haciendo seguir al grupo de electrones iniciales un camino en zig zag, con avances de unos 50m en 50ms, desde la nube hacia la tierra, que se conoce como **camino trazador** o "**stepped leader**" (figura 3).

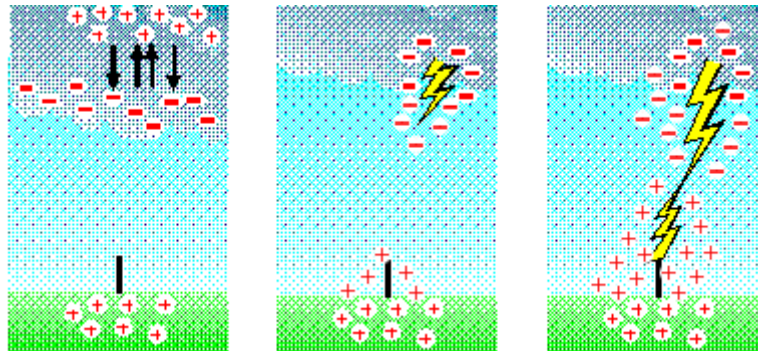


Figura 3: Esquematación del mecanismo de formación del rayo.

Al aproximarse al suelo la cabeza del efluvo trazador descendente (stepped leader), produce, por inducción, un rápido incremento del gradiente eléctrico en la superficie terrestre, que se añade a la componente continua, ya existente como consecuencia de la distribución estática de cargas en la nube.

II.2 Fases en la descarga del rayo.

Se divide en 4 fases:

1ª fase: PREDESCARGA o efluvios descendentes, aparición de efluvios trazadores descendentes, que se extienden desde la nube en dirección al suelo.

2ª fase: APARICIÓN DE EFLUVIOS eléctricos ascendentes, cuando la cabeza del trazador descendente se aproxima al suelo. Estos efluvios surgen en la mayoría de los casos a partir de elementos que sobresalen de la superficie terrestre tales como árboles, chimeneas, antenas, pararrayos etc., consecuencia del efecto punta.

3ª fase: CREACIÓN DE UN CANAL IONIZADO entre la nube y el suelo cuando la cabeza del trazador se une al efluvo ascendente. Se crea un cortocircuito entre la nube y la tierra permitiendo el paso de una corriente de alta intensidad. Es el llamado "return stroke".

4ª fase: TRAZA DE GRAN LUMINOSIDAD entre la nube y la tierra. Los electrones situados cerca del suelo son los primeros en sentir la conexión y acelerarse hacia abajo. A continuación los sucesivos grupos superiores van haciendo lo mismo. Por lo tanto, aunque las cargas negativas se mueven de la nube hacia la tierra, el flash luminoso del rayo se mueve de la tierra hacia la

nube con un tiempo de 100ms. Al mismo instante en su camino hacia tierra, las partículas negativas colisionan con el aire calentándolo y causando una expansión repentina que se propaga en forma de onda sonora llamada trueno.

Los picos de corriente oscilan desde 1kA hasta 400kA, aceptándose internacionalmente un valor medio de 30kA.

Es posible observar que no se produce un único rayo, por el contrario aprovechando el mismo canal ionizado las descargas son múltiples, se han llegado a contabilizar hasta 40. La energía liberada por la descarga se produce durante un tiempo de 100 a 300ms y la duración del pico máximo de descarga es de tan sólo 1 o 2 microsegundos.

Más del 90% de las descargas de la nube hacia tierra tienen lugar entre la nube cargada negativamente y la tierra cargada positivamente como se ha explicado, aunque también puede suceder a la inversa.

III.- ¿NOS PODEMOS PROTEGER? PROTECCIÓN CONTRA RAYOS ▲

A la hora de diseñar una instalación, se deben considerar tres niveles básicos de protección:

- 1) Nivel de protección primaria contra la caída directa del rayo. Tradicionalmente incluye el terminal aéreo, el bajante y la toma de tierra.
- 2) Nivel de protección secundaria, contra las sobre tensiones producidas por el impacto cercano de un rayo. Incluye sistemas limitadores de tensión.
- 3) Nivel de protección terciaria, protección específica de los equipos contra acoplamientos inductivos, difícil de lograr con los pararrayos tradicionales usados para la protección primaria, por la cercanía a la zona del impacto lo que origina una fortísima perturbación electromagnética.

Nos centraremos en el estudio del primer nivel de protección de rayos en el cual **PROTOTAL** introduce un innovador concepto con el Inhibidor que evita el camino por donde se produce el rayo, eliminando la posibilidad de la caída del mismo. Posteriormente nos referiremos al filtro de tierras Induc-Control, el cual cubre los 2º y 3º niveles o sea protección de las tomas de tierra contra las perturbaciones eléctrico atmosféricas de origen tormentoso vía tierra evitando su paso y propagación en ambos sentidos.

El principio fundamental de funcionamiento del pararrayos clásico es el de provocar y ofrecer al trazador descendente un camino predeterminado a tierra que permita al máximo la descarga de la fuerte corriente eléctrica del rayo, disminuyendo así los efectos destructivos en las edificaciones y sus consecuencias directas. Existen diversos sistemas de pararrayos y diferentes técnicas.

El primer sistema se basa en la aplicación de las Leyes de Faraday. Se limita a envolver el edificio que se desea proteger con una densa jaula metálica a través de la cual, el rayo, en caso de caer sobre el edificio, se disipará a tierra a través de dicha jaula causando los mínimos daños a las estructuras, pero no evita, sino todo lo contrario aumenta los destructivos efectos llamados secundarios, causados por las inherentes y potentes inducciones electromagnéticas en los aparatos electrónicos y eléctricos.

Los demás sistemas pretenden ser más activos, porque en ellos se incentiva la provocación de la caída del rayo, mediante la ionización de la punta del pararrayos, generando la aparición de los efluvios ascendentes. Estos sistemas activos se basan en el llamado modelo electro geométrico.

Dicho modelo parte de la certeza experimental de que el avance del trazador del rayo no se produce de forma continua sino que lo hace en forma de impulsos, avanzando una cierta distancia, parando, avanzando otra vez, parando, y así sucesivamente.

Según este modelo el punto de impacto del rayo es el primer punto de tierra que se encuentre a distancia límite del trazador descendente. Esta distancia límite, R , es la que separa la cabeza del efluvio eléctrico descendente del punto de impacto, en el momento en que se crea un efluvio eléctrico ascendente, y depende en parte de la intensidad máxima de la corriente del rayo. Por tanto se puede suponer que la punta del trazador está envuelta por una esfera imaginaria de radio R , que la acompaña en su trayectoria. Al aproximarse a tierra, el primer punto que entre en contacto con la imaginaria esfera determinará el punto de impacto del rayo (figuras 4 y 5).

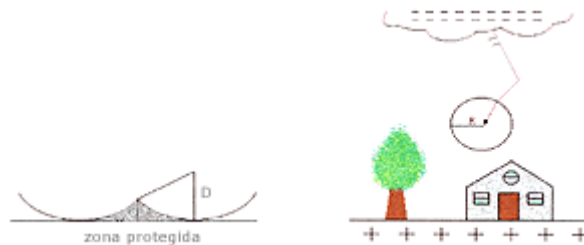
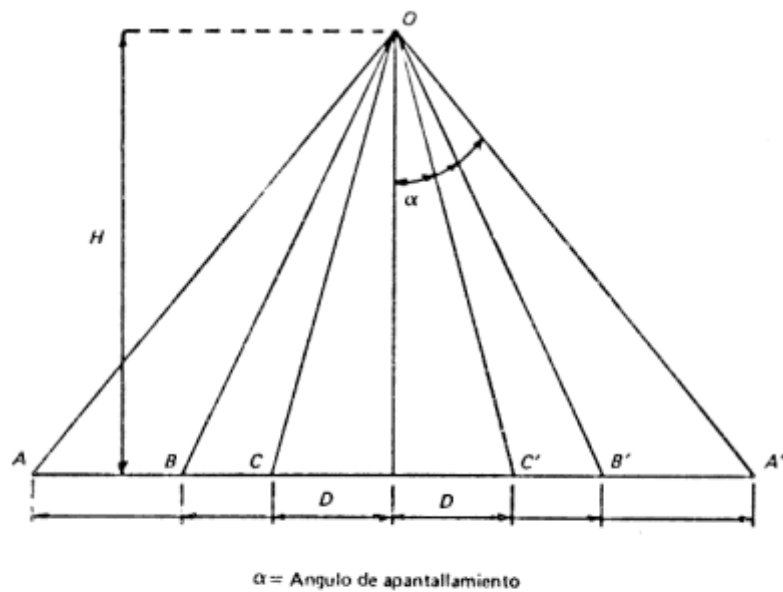


Figura 4: Distancia de "cebado" o límite y zona protegida por un pararrayos convencional de acuerdo con este modelo.



Zona	D/H	α	Fuente	Recomendado para
AOA'	2/1	63°	NFPA	Casos ordinarios
BOB'	1/1	45°	NFPA	Casos importantes
COC'	0,58/1	30°	BRITISH CODE	Estructuras ordinarias
			BRITISH CODE	Estructuras peligrosas

Figura 5: Distancias de apantallamiento según el tipo de protección requerida.

El sistema de punta activada se basa en las consideraciones siguientes: el gradiente de campo eléctrico aumenta alrededor del pararrayos a causa de su diseño geométrico (efecto punta). Cuando se le acerca un efluvio descendente

durante la 1ª fase, el gradiente del campo eléctrico alrededor del vértice toma un valor superior al mínimo requerido para que se produzca la descarga. Esta, pues, se inicia desde la punta, dando lugar a un efluvo ascendente que sale al encuentro del efluvo descendente (2ª fase). El resultado final es la unión entre ambos y el drenaje de la corriente del rayo (fases 3ª y 4ª) a través del sistema de puesta a tierra.

El campo eléctrico influye en el desarrollo del rayo, en dos componentes simultáneos:

- Por el lento crecimiento del campo en función de la carga espacial localizada en la nube.
- Por el rápido crecimiento del campo asociado al efluvo descendente que se dirige a tierra.

Como no es posible controlar el efluvo descendente, una forma de mejorar la eficacia de estos sistemas es promover la creación y propagación del efluvo ascendente.

El primer pararrayos de este tipo que se utilizó fue el pararrayos de Franklin, consistente en una punta rodeada de aristas que aumenten la ionización del aire alrededor de la punta central. El radio de protección del pararrayos se calcula aproximadamente multiplicando su altura por 1,7.

El pararrayos actualmente prohibido por sus efectos contaminantes es el radioactivo, en el cual la ionización pretendía obtenerse mediante la emisión de partículas de un elemento radioactivo colocado en el extremo del pararrayos, efecto que en la práctica resultó ser nulo.

Otro tipo utilizado es el pararrayos ionizante, que funciona básicamente mediante el aumento de la tensión en la punta cuando el ambiente está cargado, de forma que se produzca un incremento del "efecto corona" (formación de iones alrededor de la punta en forma de corona), el cual tiende a aumentar la formación del efluvo ascendente.

IV.1 Aspectos de interés del sistema **PROTOTAL**. Existen dos aspectos de máximo interés que aconsejan la colocación de las protecciones **PROTOTAL** en todo tipo de instalaciones:

1.- La utilización de elementos de protección **PROTOTAL** en cualquier instalación, no interfieren, ni neutralizan ni contrarrestan las protecciones existentes con anterioridad, a excepción hecha, claro está, de los pararrayos convencionales, que por tratarse de "captadores provocadores de rayos" deberán retirarse pues entran en contradicción con el Sistema de Inhibición, cuya característica fundamental es, precisamente, la de evitar la **formación del rayo** y su posterior impacto.

2.- Las características propias de funcionamiento hacen invulnerables a los equipos de protección de **PROTOTAL**. Concretamente, los tiempos de activación de los elementos de protección son tan rápidos que en ningún caso pueden encontrarse en situación de saturación.

IV.2 Conceptos básicos: transparencia (bajísima resistencia de paso) de los aparatos.

Los filtros aéreos y los filtros de tierras **PROTOTAL** conceptualmente son de la misma naturaleza, aunque dimensionados de modo diverso adecuado según la función a desarrollar y su ubicación.

Dichos filtros se encuentran "puenteados". Esto significa que en condiciones atmosféricas estacionarias, o sea sin perturbación, entre las puntas del filtro el potencial es 0, y la resistencia es prácticamente nula (apenas unas centésimas de ohmio, debidas a la propia resistencia del cable y a las conexiones de los bornes). Por este motivo se considera que el filtro de tierras Induc-Control es totalmente transparente ($R = \text{casi } 0\Omega$) a las mediciones de comprobación de las tomas de tierra, actuando adecuadamente como derivador de las corrientes de fuga indeseadas hacia tierra, todo ello previsto en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, del Ministerio de Industria y Energía.

IV.3 Potencial de activación.

En condiciones transitorias, o sea ante una perturbación, se activa a partir de un cierto potencial el cual constituye el umbral de activación. A partir de este momento el filtro comienza a actuar presentando un efecto de superconductancia o resistencia negativa, por tanto la intensidad de corriente pasa necesariamente por el filtro, no circulando por el cable que en este momento es un paso de mayor resistencia, o de alta impedancia.

En el caso del Inhibidor, por causa de las oscilaciones del campo eléctrico que se dan por la agitación electromagnética ambiental provocada por una nube incipiente, se ha dotado al filtro de un cabezal aéreo que actúa de condensador de dichos efectos. Este cabezal capacitativo tiene, entre sus varias funciones, la de garantizar el alcance del umbral de activación.

IV.4 Máximo potencial que admite el filtro.

A partir de este potencial de activación, aunque la onda perturbadora o activadora continúe en progresión, el filtro presenta, por inercia, un pequeño rebote que sobrepasa el potencial de activación, alcanzando su máximo valor después de sólo unos 300 a 500 ns.

La respuesta del filtro es simple. Se trata de una forma de onda sinusoidal amortiguada cuya amplitud va disminuyendo de manera exponencial.

IV.5 Tiempos de actuación.

Los potenciales de activación en cualquiera de los dos casos se alcanzan con gran rapidez (siendo el tiempo máximo de 100 ns, y el mínimo despreciable).

Para comprobar la rapidez con que las protecciones **PROTOTAL** empiezan a actuar, vamos a hacer una breve explicación de las pruebas estándar tipificadas por las normativas más exigentes.

Para cualquier aparato de protección, y concretamente en nuestro caso para el filtro de la toma de tierra Induc-Control, las pruebas estandarizadas de aislamiento se realizan con la curva estándar 1,25/50 ms en tensión, para la caída directa o casi directa de un rayo o también por una espuria residual del mismo. De hecho este valor no es más que una propuesta extrema de un fenómeno difícil de cuantificar pero que se considera que el primer destello no acostumbra a cebarse en menos de 2-3 ms (estimaciones por la Ley de Lenz, en el caso modelizado de un salto de chispa entre las placas del condensador que representan respectivamente la nube y la superficie de la tierra, y con un dieléctrico atmosférico de humedad variable).

Por otra parte, las inducciones residuales (corrientes de derivación, no tiene sentido hablar de tensiones), se consideran amortiguadas por dos motivos: tanto por su propia naturaleza de inducción (son inducciones sin contacto directo dependiendo del coeficiente de acoplamiento) como por los elementos resistivos de diferente naturaleza (resistivos, inductivos y capacitativos) que encuentran a su paso. En definitiva, las pruebas de intensidad están modelizadas con el estándar 8/20 ms, que tiene una forma de onda con un pico

en rampa, con una fase ascendente, menos pronunciada y una "cola" de la onda, fase descendente, mucho menos "llena", y por tanto menos energética.

Hay que destacar que el filtro para toma de tierra Induc-Control actúa bidireccionalmente. Ello quiere decir que es capaz de absorber las corrientes que puedan ser inducidas por la propia red de las tomas de tierra (por ejemplo un rayo que ha caído a 100 metros o a 1 Km. de distancia y que haya perturbado determinadas capas superficiales o subterráneas de la tierra con mayor o menor calidad resistiva, y que se transmita a la instalación a través de la toma de tierra), o bien puede actuar por una corriente generada por inducción en la propia infraestructura de la instalación.

El Sistema de Inhibición de **PROTOTAL** ha demostrado que la caída directa del rayo es un problema que ha pasado a la historia.

Por si surge la duda sobre la posibilidad de que una nube rápida se sitúe encima de nuestra instalación protegida y su efecto de creación de campo eléctrico sea más rápido que el de nuestro potencial de activación, (con las hipótesis extremas de una nube cargada a un máximo de 40 Culombs y que a 1 Km. de la vertical de nuestra instalación no perturba el campo eléctrico), diremos que la velocidad de la nube tendría que ser $3,6 \times 10^9$ Km./h, lo que representa aproximadamente de 7 a 8 órdenes de magnitud superior a la máxima velocidad de las nubes.

V.- ESTUDIO DEL INHIBIDOR DE RAYOS PROTOTAL



V.1

Descripción.

El Inhibidor de rayos se compone de un cabezal aéreo soportado por un mástil al que se le acopla un filtro (figura 6). El cabezal aéreo presenta una placa metálica de forma semiesférica, separada de otra pieza también de forma semiesférica, por el aire, un dieléctrico dinámico especial desarrollado por **PROTOTAL** y una pieza separadora aislante orgánica con una forma discal resistente a los agentes ambientales atmosféricos.

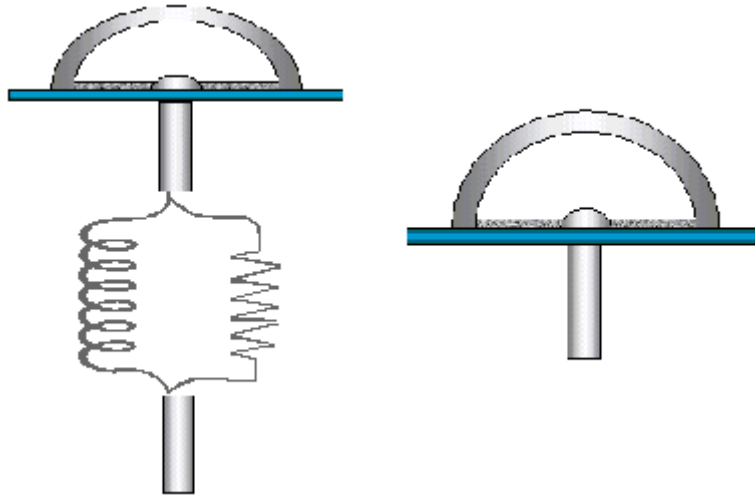


Figura 6: Esquema del Inhibidor

V.2 Posibilidades de funcionamiento del sistema inhibidor de rayos.

Podemos generar diferentes hipótesis de funcionamiento del sistema. Las dos más típicas serían:

1) Que el Inhibidor sea básicamente una capacidad en serie con una resistencia en paralelo con una inductancia. Este circuito tan sencillo se comportaría como un filtro pasa - altos. Debido a que la impedancia de la capacidad ($Z=1/j\omega C$) está en serie, sería la que limita la entrada de corriente al circuito. Como ésta depende en proporción inversa de la frecuencia, únicamente dejará pasar la señal de alta frecuencia.

2) Por otro lado, por el hecho de estar constituido por un terminal aéreo, el sistema tendría que ser sensible a las variaciones del campo electromagnético a su alrededor, comportándose como una antena receptora (figura 7).

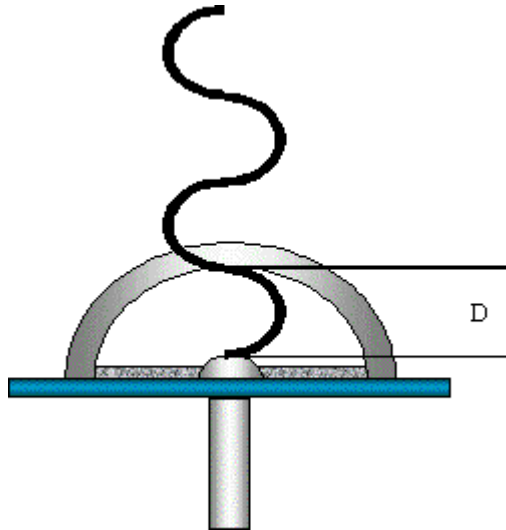


Figura 7: Onda captada por el cabezal en caso de comportarse como una antena.

A pesar de que estas dos hipótesis pueden parecer ciertas, no corresponden exactamente al funcionamiento básico del Inhibidor:

La primera es directamente eliminable como solución a las descargas atmosféricas, debido a que su funcionamiento se basaría en la caída directa del rayo sobre el cabezal metálico del terminal. Teniendo en cuenta las explicaciones dadas anteriormente sobre los modernos métodos de detención del rayo, la forma semiesférica del cabezal no sería un buen punto para atraer el trazador. Así, si un rayo se formara cerca del Inhibidor, este sería atraído directamente por la estructura del propio edificio.

V.3 Funcionamiento real del Inhibidor.

La base del funcionamiento real del Inhibidor de descargas de rayos es mucho más sencilla que las soluciones posibles enumeradas en el apartado anterior. Está fundamentada en principios de electrostática básica y corresponde a lo que llamamos tercer estadio de desarrollo de los pararrayos.

El primer estadio se ha descrito en apartados anteriores. Correspondería a la atracción del rayo mediante efecto punta. Una evolución intermedia entre este sistema y el sistema propuesto por **PROTOTAL** sería lo llamado segunda fase y estaría basada en un principio opuesto: el retraso en la formación del rayo. En lugar de utilizar una punta (o unas pocas puntas) como cabezal ionizador, se podría construir un cabezal formado por muchísimas puntas para repartir entre todas ellas la carga debida a la presencia de la nube. A medida que el potencial de tierra crece, la corona generada en una punta Franklin aumenta y

se expande, permitiendo la formación de un efluvio ascendente que se encontrará con el trazador descendente. En cambio, en el caso de una distribución densa de puntas o una esfera/semiesfera metálica, el potencial necesario para provocar la ionización es mucho más grande y cuando se genera lo hace de forma repentina, encontrándose con el trazador. La ventaja de este sistema sería que en función de la energía acumulada en algunos casos la nube podría pasar por encima de la instalación sin que tuviera tiempo de formar un rayo (figura 9).

El tercer estadio de desarrollo correspondería al Inhibidor de rayos desarrollado por **PROTOTAL**. Su funcionamiento está esquematizado en la (figura 8).

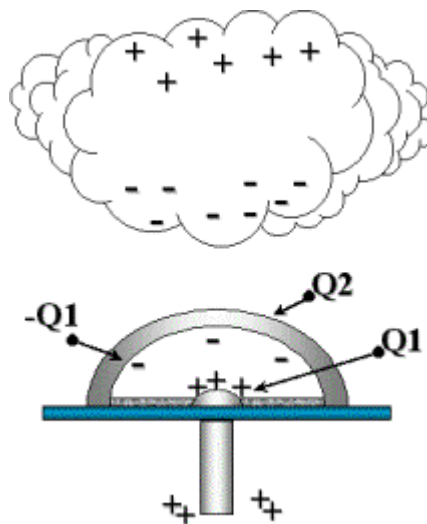


Figura 8: Funcionamiento del Inhibidor.

Las etapas de operación son las siguientes:

- 1) La carga negativa de la base de la nube induce una carga positiva en la tierra, que se transmite a través del mástil del Inhibidor y carga positivamente (con carga Q_1) la armadura interna del condensador.
- 2) El dieléctrico complejo y dinámico especial desarrollado por **PROTOTAL** existente en el condensador, permite que en la parte interior de la pieza semiesférica que lo envuelve se induzca una carga igual a la de la armadura interior pero de signo contrario, $-Q_1$ (inducción de cargas).

3) Como el conductor armadura exterior inicialmente es neutro porque no está conectado a ningún terminal, ésta carga interior negativa produce una carga igual positiva en la parte exterior (separación de cargas), en contacto con el aire. $Q_2=Q_1$.

4) El choque de partículas cargadas de la atmósfera circundante (negativas) puede influir en la carga exterior Q_2 sin afectar a las otras. Se trata de un efecto similar a cuando se une un conductor a una fuente de tensión y después se separan, quedando el conductor cargado.

Así, a medida que aumenta la carga en la nube también lo hace la carga imagen de la tierra y por tanto, la del condensador incrementándose hasta un valor máximo determinado por la capacidad del condensador y la tensión de ruptura del dieléctrico dinámico especial.

Al producirse la descarga del condensador, Q anulará $-Q_1$ y sólo quedará la pieza semiesférica con carga Q_2 positiva. En un caso ideal, la carga atmosférica no influye al conductor exterior y Q_2 permanece igual a Q_1 . Tenemos pues un conductor cargado positivamente como punto de partida del proceso antes descrito. Así pues, después de cada descarga del condensador la carga positiva neta se incrementa en la misma cantidad (Q_1), aumentando sucesivamente en función de la carga de la nube (figura 9).

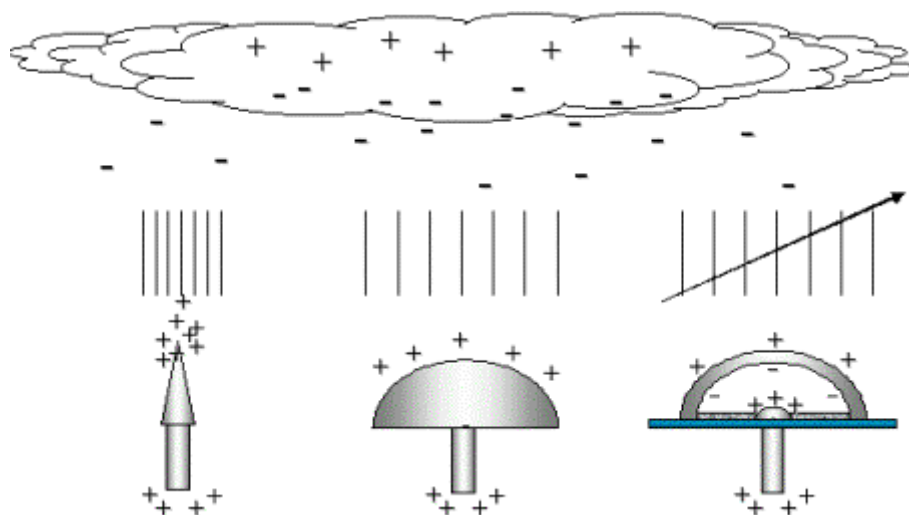


Figura 9: Comparación de los diversos sistemas de protección primaria contra el rayo. En la punta de Franklin las líneas se concentran en la punta, ionizando el aire y favoreciendo la atracción del rayo. Con una esfera conductora conectada a tierra se consigue dispersar las líneas de campo y retardar la ionización. El Inhibidor permite concentrar mucha carga, que influenciará un área mayor. Esta carga variable permite una modificación de la densidad de líneas de campo en función de la carga de la nube.

Para un ion negativo lejano, ésta carga actúa como si fuera puntual y de valor $Q_2=n \cdot Q_1$, (donde n es el número de descargas que han tenido lugar en el condensador) atrayéndolo con una fuerza proporcional a Q_2 e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

$$\vec{F} = K \frac{Q \cdot Q_2}{r^2} \hat{r}$$

Debido a la forma semiesférica del cabezal, el área influenciada tendría una forma redondeada tal como se esquematiza en la figura 10.

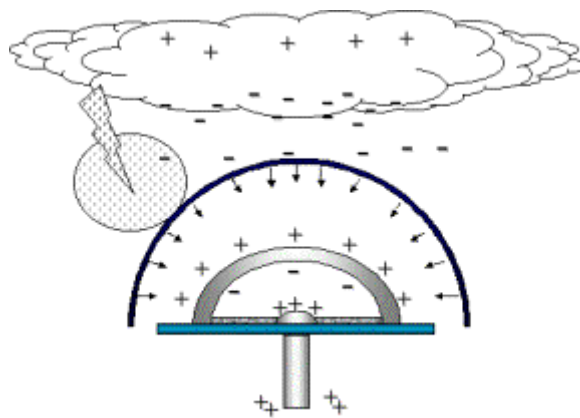


Figura 10: Esquema del proceso de inhibición descrito en el texto.

En la figura 11 se puede ver una simulación por ordenador del área de influencia del Inhibidor, y en la figura 12 el área de influencia del mismo Inhibidor complementado con otro de los elementos de protección aérea, el que denominamos Corrector o expansor de Campo. Estas simulaciones no corresponden a escala alguna.

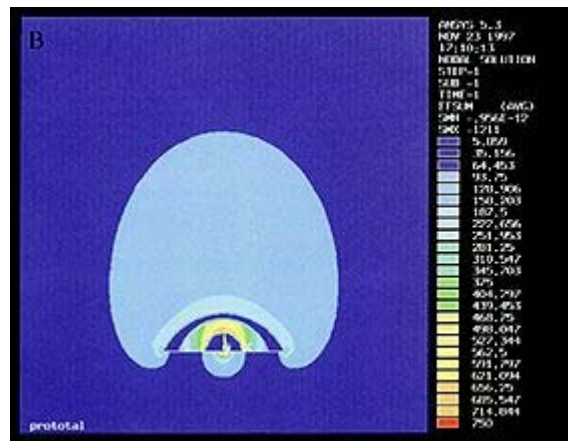


Figura 11: Distribución del campo eléctrico

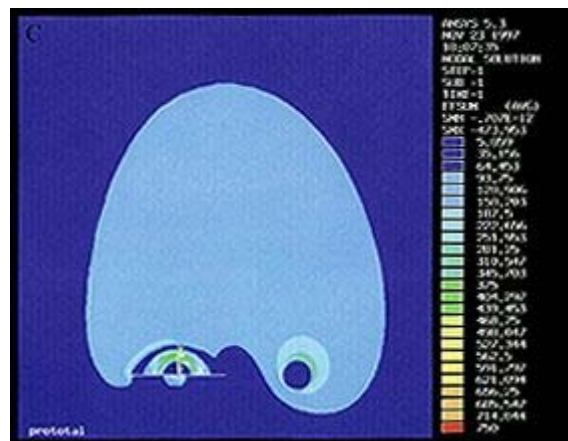


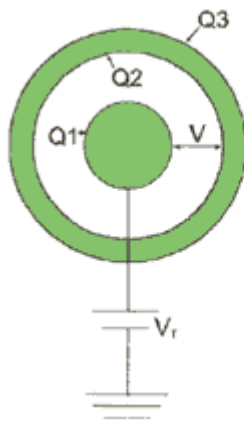
Figura 12: Distribución del campo eléctrico

Cualquier partícula que se encuentre dentro del área influenciada por el cabezal y elementos correctores añadidos y/o accidentales se verá atraída hacia ella.

Como las líneas de campo no convergen en un punto creando un efecto punta sino que se distribuyen por todo el cabezal, se produce una equidistribución de la carga bajante no formándose nunca un canal ionizado. En un caso extremo se producirían mini-descargas distribuidas alrededor de la superficie de la pieza semiesférica. De esta forma se conseguiría ir descargando lentamente la nube a un bajo nivel energético, siempre que el radio de acción sea lo suficientemente grande. En realidad éste dispositivo tiene un carácter equalizador de carga.

En el supuesto de que el trazador procedente de la nube se formara, si su esfera de influencia entrara en el área protegida por el Inhibidor daría lugar a una distribución de mini-descargas por toda la superficie. El proceso sería exactamente el mismo descrito anteriormente.

El proceso puede considerarse a la inversa: el cabezal lleva una cierta carga que suministra al trazador para anular la de éste (efecto Inhibidor). Entonces nunca se produce la vuelta de la carga a partir de la tierra y por lo tanto, nunca la gran intensidad que produce el rayo.



ESTADO INICIAL

$$Q1 = 4\pi\epsilon \frac{R1 R2}{R2 - R1} V \quad \begin{matrix} Q2 = -Q1 \\ Q3 = Q1 \end{matrix}$$

Mientras $V = V_{int} - V_{ext} < V_{umbral}$:

$$\begin{matrix} V_{int} = V_T \\ V_{ext} = 0 \end{matrix}$$

DESCARGA DEL CONDENSADOR

Cuando $V = V_{\text{umbral}} + \Delta V > V_{\text{umbral}}$:

$$V_{\text{int}} = V_T \quad V_{\text{ext}} = 0$$

$$Q1 = 4\pi\epsilon \frac{R1 R2}{R2-R1} (V_{\text{umbral}} + \Delta V)$$

$$Q1 = 4\pi\epsilon \frac{R1 R2}{R2-R1} V_{\text{umbral}} + \Delta q$$

$$Q2 = -Q1$$

$$Q3 = Q1$$

$$V = V_{\text{umbral}} - V_{\text{ext}}$$

$$V_{\text{ext}} = \frac{Q3+Q2}{C3} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \frac{R1 \cdot R2 \cdot \Delta V}{(R2-R1)R3}$$

$$Q1 = 4\pi\epsilon \frac{R1 R2}{R2-R1} V_{\text{umbral}}$$

$$Q2 = -Q1$$

$$Q3 = Q1 + \Delta q$$

REPETICIÓN DEL PROCESO

El siguiente proceso de descarga tendrá lugar cuando la tensión interior sea:

$$V_{\text{int}} = V_T = V_{\text{umbral}} + \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \frac{R1 \cdot R2 \cdot \Delta V}{(R2-R1)R3} + \Delta V$$

DESCARGA DE LA NUBE

Simultáneamente, el aumento de Q3 crea un campo eléctrico cada vez más grande que atrae las cargas de la atmósfera. Ello la hace disminuir.

$$Q3 \Rightarrow Q3 - \Delta q$$

$$\Delta V_{\text{ext}} = - \frac{\Delta q}{C3} = - \frac{\Delta q}{4\pi\epsilon_0 R3}$$

$$V_{\text{ext}} \downarrow \Rightarrow V_{\text{int}} - V_{\text{ext}} \uparrow \Rightarrow V > V_{\text{umbral}}$$

Por lo tanto vuelve a haber conducción, recuperando Q3, habiéndose disminuido una cantidad Δq de la nube, y por tanto, de la tierra.

La situación descrita corresponde a un caso ideal en el cual la carga Q2 no se ve influenciada por la atmósfera circundante. En realidad, un ambiente húmedo y ventoso puede favorecer la descarga parcial de la parte externa del cabezal. En este caso Q2 no aumentaría tan rápidamente, con lo cual el Inhibidor funcionaría exactamente igual.

V.4 Descarga del condensador.

En el proceso de descarga del condensador es donde entra en juego el dieléctrico dinámico especial del cabezal aéreo. Esto es fundamental, porque la constante dieléctrica del material determina la capacidad del condensador, y ésta la carga que es capaz de almacenar.

$$C = 4\pi\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \quad Q = CV$$

VI.- CONCLUSIONES

VI.1 Respecto al terminal aéreo.

El resultado final de este estudio del Inhibidor de rayos desarrollado por **PROTOTAL** demuestra su efectividad en cuanto a la protección contra el rayo, ya que siempre retarda su formación gracias a la forma semiesférica de la pieza metálica exterior. Esta morfología inhibe la formación de efluvios ascendentes que vayan a encontrar el camino trazado por el rayo en su formación, asegurando mediante el correcto diseño del terminal aéreo, su carácter inhibitor. Descargando la atmósfera circundante, impide la posibilidad de la formación del rayo alrededor del Inhibidor y la descarga descontrolada de la nube.

Todo lo descrito ha sido en el supuesto de una carga negativa en la base de la nube. Es obvio que en el caso de que esta carga fuera positiva, el Inhibidor funcionaría exactamente igual, pero a la inversa.

VII - SÍNTESIS DEL NUEVO SISTEMA DE PROTECCION PROTOTAL^Λ CONTRA LAS DESCARGAS ATMOSFERICAS

VII.1 Resumen para el lector con prisa.

Los sistemas de protección existentes contra las descargas atmosféricas se

basan en provocar dichas descargas mediante un dispositivo mal llamado **pararrayos**, (ya que no los detiene sino todo lo contrario, los atrae, quizá deberían denominarse "captarrayos"), cuya misión consiste en canalizar la mayor parte de la enorme energía instantánea producida por la descarga, tratando de evitar así los graves daños primarios causados en los edificios y a sus ocupantes de no existir tal dispositivo, pero no siempre se consigue ya que depende de la magnitud de la descarga, cadencia, condiciones y dimensionado del conjunto de la instalación del pararrayos (resistencia eléctrica, trazado de la bajada y del estado de la toma de tierra, etc.). Sin embargo no nos pueden proteger de los nada despreciables efectos secundarios de la inducción electromagnética causada por la gran energía que se desarrolla durante la descarga en el propio pararrayos, en todos los conductores de las diferentes instalaciones existentes, eléctricas, telefónicas, comunicaciones, informáticas, equipos electrónicos, gas, vallas metálicas, etc., ya que sus efectos impredecibles e imprevisibles pueden alcanzar considerables distancias.

PROTOTAL propone un sistema global de protección, resultado de un profundo, innovador y actualizado estudio, de los complejos fenómenos atmosféricos que intervienen en los procesos de las descargas eléctricas, aplicando los últimos conocimientos multidisciplinarios y estudios estadísticos, con el objeto de lograr la máxima protección, siguiendo el sabio principio de la prevención, el cual nos señala que evitando la causa no aparece el efecto.

El sistema **PROTOTAL** consiste en impedir la formación del **camino trazador plásmico iónico** por el que transcurren las descargas atmosféricas, basándose en que la formación del **camino trazador** no es instantánea, por lo tanto discurre un cierto tiempo para su completa formación, haciendo posible que durante dicho tiempo puedan provocarse imperceptibles micro descargas en el camino plásmico iónico en su estado inicial, que evitan la formación del **camino trazador** final por el que transcurrirían las macro descargas de la energía acumulada en la atmósfera, evitándose lo que todos conocemos como caída del rayo.

De lo anteriormente mencionado se desprende que el sistema **PROTOTAL** sí cumple verdaderamente con la función de pararrayos (parar los rayos), logrando que no se produzca el rayo, eliminando la formación del camino trazador, por el que se produciría la peligrosa descarga, de la cual es difícil predecir y cuantificar la magnitud.

El sistema **PROTOTAL**, además de la máxima protección primaria (evitando la causa), propone soluciones para minimizar y eliminar los efectos secundarios de las descargas externas que se producen en árboles, elevaciones del

terreno, edificios sin protección, estructuras metálicas, postes de cemento con armadura metálica, pararrayos convencionales cercanos, etc., y que nos llega a través de líneas eléctricas de diferentes suministros, tomas de tierra, líneas telefónicas, redes informáticas, tuberías metálicas y la propia toma de tierra.

Claro está que lo anteriormente expuesto es una simplificación de la realidad, ya que la descripción detallada de todos los fenómenos que acompañan las descargas atmosféricas tiene una gran complejidad, ya descrita anteriormente.

El propósito del presente documento es el de facilitar datos comprensibles para colaborar con la persona que tiene que asumir la importante responsabilidad de elegir el sistema de protección más idóneo y eficaz.

Para ello ponemos a su disposición nuestra sección técnica para colaborar y orientar al instalador en las principales reglas a seguir para alcanzar la máxima protección del nuevo sistema **PROTOTAL**, ya que las aplicadas en otros sistemas convencionales, creemos que ya obsoletos, no lo son en el nuestro, basado en conceptos más innovadores y completamente diferentes.

Conviene señalar que cada instalación tiene sus particularidades en función de la forma del edificio, ubicación del terreno, tipo de bienes a proteger, (no siendo lo mismo proteger las instalaciones de una estación de esquí que un campo de generación de energía eólica), líneas de alta tensión, torres de emisión o enlace radiofónico, almacenes de materiales inflamables y/o explosivos, centros de comunicaciones y un largo etc. También los grados de protección que se desee o sea necesario alcanzar dependerá de la adopción de un tipo u otro de instalación.

PROTOTAL pone a su disposición el Centro de Asistencia y Estudios al servicio de instaladores y empresas que requieran proyectos de instalaciones y soluciones de problemas específicos.

VIII - ALGUNAS INSTALACIONES REALIZADAS EN ESPAÑA Y EN EL PRINCIPADO DE ANDORRA

- **FACTORÍA SEAT**, en Martorell, 150.000 m² de superficie.
- **CENTRO DE PROCESO DE DATOS DE VOLKSWAGEN-GEDAS**, en Martorell.
- **INDUSTRIAL SEDÓ, S.A.**, en la provincia de Tarragona.

- **INDUSTRIAS REGARD, S.A.**, en la provincia de Barcelona.
- **REPETIDOR DE COMUNICACIONES MOVISTAR** para Telefónica Móviles, S.A., en la provincia de Barcelona.
- **REPETIDOR DE COMUNICACIONES** del Pic Blanc, en el Pas de la Casa (Andorra), para el Servicio de Telecomunicaciones del Principado de Andorra.
- **AEROPUERTO DE SANTIAGO DE COMPOSTELA**, estaciones meteorológicas de las cabeceras de pistas.
- **AEROPUERTO DE VIGO**, luces de aproximación y aterrizaje.
- **AEROPUERTO DE SANTIAGO DE ALBACETE**, torre de control.
- **AEROPUERTO DE SANTIAGO DE REUS (Tarragona)**, protección de la caseta del cuadro eléctrico de distribución.
- **ESTACIÓN DE ESQUÍ** de Sierra Nevada, en la provincia de Granada.
- **AYUNTAMIENTO DE SANT ANDREU DE LLAVANERES**, para el servicio de suministro de agua potable.
- **MINISTERIO DE DEFENSA**, diversas torres de comunicaciones.
- **MINISTERIO DE CULTURA**, edificio institucional.
- **SALVAMENTO MARÍTIMO**, torre de comunicaciones.
- **GRAN HOTEL REY DON JAIME**, en Castelldefels (Barcelona).
- **PARQUE NACIONAL DEL MONTSENY**, protección de tres secuoyas gigantes para la Diputación Provincial de Barcelona.
- **ADIF-RENFE**, más de doscientas instalaciones en toda la península entre subestaciones de tracción y tramos de la línea de catenaria del trayecto entre Benicarló y Vandellós, en la línea Valencia-Tarragona.
- **PLANTA FOTOVOLTAICA** en Torrijos (Toledo).
- **SANTUARIOS, IGLESIAS y ERMITAS** en toda la península y en Italia..