

Prevención de riesgos laborales originados por la caída de rayos

*Prevention of occupational risks due to lightning
Prévention des risques professionnels liés à la foudre*

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

Elaborado por:

José M^a Tamborero del Pino

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO.INSHT

Susana Polo Martí

APLICACIONES TECNOLÓGICAS, S.A.

Esta Nota Técnica de Prevención (NTP) trata sobre el fenómeno natural de las descargas electrostáticas, más comúnmente denominadas rayos y sus efectos sobre las personas y equipos. Para ello se describe el fenómeno natural del rayo, los riesgos y factores de riesgo y las medidas de prevención y protección.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

Los rayos son fenómenos naturales cuya formación es imposible de evitar, que suponen una gran concentración de energía y por tanto un peligro para la vida de las personas. Sin embargo, es posible tomar medidas de prevención y protección para reducir al máximo la posibilidad de que estas descargas causen daños graves a los trabajadores. Estas medidas afectan tanto a los edificios como a los equipos y a las pautas de trabajo, y por tanto deben tenerse en cuenta dentro de los planes de prevención laboral.

Para conocer las causas y minimizar los efectos del rayo, en esta Nota Técnica de Prevención (NTP) se describen el fenómeno del rayo, los riesgos y factores de riesgo que pueden afectar a los trabajadores y los bienes, y las medidas de prevención y protección más adecuadas para su control.

2. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DEL RAYO. EFECTOS

Formación de las tormentas y caída de los rayos

Cuando las condiciones atmosféricas son normales, el equilibrio eléctrico en la atmósfera permanece estable, pero al formarse las nubes de tormenta (cumulonimbos), en su interior se produce una separación entre las cargas positivas y las negativas. La parte inferior de la nube queda cargada negativamente, lo que induce una acumulación de cargas positivas en todos los elementos situados sobre el suelo.

La nube comienza a descargarse, avanzando la descarga a saltos que duran millonésimas de segundo (trazador descendente). Estos cambios eléctricos bruscos producen una acumulación de las cargas positivas aun mayor, produciéndose el efecto corona que a veces es incluso perceptible como un zumbido, una luz verdosa o el erizamiento de los cabellos. En esos momentos, el

camino de descarga del rayo se está creando: las cargas que producen el efecto corona formarán un “trazador ascendente”, que va al encuentro de la descarga de la nube. Cuando se encuentran, el camino ya está creado y la nube se descargará por este canal. Esta descarga eléctrica con una enorme energía, que se visualiza como una luz cegadora se denomina rayo. Véase la figura 1.



Figura 1. Formación del rayo. Separación entre cargas positivas y negativas

Se estima que en el planeta coexisten simultáneamente unas 2.000 tormentas y cerca de 100 rayos descargan sobre la tierra cada segundo. En total, esto representa unas 4.000 tormentas diarias y 9 millones de descargas atmosféricas cada día. En España, según las normativas de medición legales y técnicas existentes (CTE. Documento básico DB-SUA8 y UNE-21186), la media está en torno a 2 rayos por km²/año, esto es, en torno a un millón de rayos al año.

El valor típico de la corriente del rayo es de decenas de miles de amperios. Las normativas de seguridad exigen que los diferenciales actúen para corrientes superiores a 30 mA para que los usuarios, en este caso los trabajadores, no estén expuestos al riesgo de electrocución. La corriente de pico media del rayo es aproximadamente un

millón de veces mayor aunque muy rápida, por lo que las protecciones eléctricas habituales (magneto térmicos y diferenciales) no son capaces de actuar a tiempo para evitar su paso.

Efectos del rayo

Los tipos de efectos que pueden producir los rayos se pueden desglosar en físicos y los que pueden afectar a las personas, estructuras o líneas por diversos motivos y en distintas circunstancias.

Efectos físicos.

Los efectos físicos del rayo en toda su trayectoria desde la nube hasta la disipación de la corriente en tierra son muy diversos:

- Efectos visuales, por las altas temperaturas que se alcanzan en el canal de descarga.
- Efectos acústicos, por el aumento de presión debido al rápido calentamiento del canal.
- Efectos térmicos: disipación de calor por efecto Joule.
- Efectos electrodinámicos: fuerzas mecánicas a las que se ven sometidos los conductores por estar dentro de un campo magnético originado en otro conductor que pueden producir deformaciones.
- Efectos electroquímicos: las tensiones que aparecen debido a la variación del flujo magnético produce electrolisis en el terreno.
- Efectos de inducción: dentro de un campo electromagnético variable, todo conductor sufre el paso de corrientes inducidas.

Efectos sobre las personas. Consecuencias

Los efectos sobre las personas pueden llegar a ser de extrema gravedad. El impacto de un rayo directamente sobre una persona o localizado en un radio de hasta 100 metros de la misma puede causar:

- Quemaduras en la piel.
- Rotura de los tímpanos.
- Lesiones en la retina.
- Caída al suelo por la onda expansiva.
- Caída al suelo por agarrotamiento muscular debido a una tensión de paso ligera.
- Lesiones pulmonares óseas.
- Estrés pos-traumático.
- Muerte por paro cardíaco, paro respiratorio o por lesiones cerebrales.

A continuación se describen las consecuencias de la caída de un rayo sobre los trabajadores por impacto directo o por proximidad en zonas abiertas.

El impacto directo del rayo en una persona trabajando en una zona abierta, con la corriente del rayo circulando hacia tierra a través de su cuerpo, normalmente produce graves lesiones e incluso la muerte. Pero incluso si el rayo impacta en un punto cercano, existe riesgo de electrocución debido a las tensiones de paso y de contacto. Se definen cada una de ellas:

- La **tensión de paso** es la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso equivalente a un metro, cuando en ese terreno se está dispersando la corriente del rayo.
- La **tensión de contacto** es la producida entre la parte de contacto del individuo con un elemento por el que circula la corriente del rayo y una masa o elemento metálico que normalmente debería estar sin tensión.

Cuando el rayo baja por una bajante, se debe considerar que parte de la corriente del mismo pasará a través del trabajador que pueda estar en contacto directo con la misma y también a los que se puedan encontrar en el interior de un semicírculo virtual de un radio de 3 m con el consiguiente daño por choque eléctrico. En la figura 2, se puede ver una vista general y detalle de los conceptos “tensión de paso” y “tensión de contacto”.

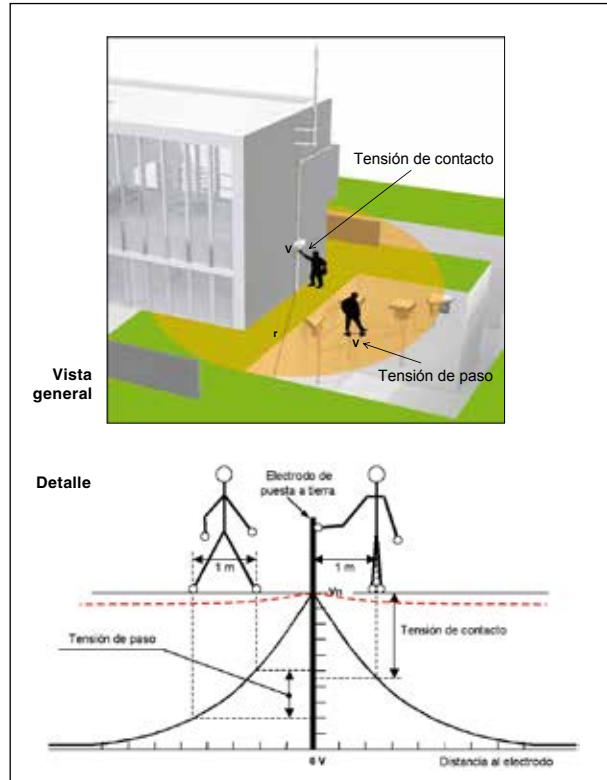


Figura 2. Tensiones de paso y contacto. Vista general y detalle

Efectos en las estructuras. Consecuencias

El riesgo de impacto de un rayo sobre una estructura depende de sus dimensiones, especialmente de su altura, así como del número de rayos que caigan en la zona. También influye el hecho de que esté rodeada o no de edificios o elementos más altos.

Una vez el trazador descendente se aproxima a la estructura, impacta en el punto más favorable (normalmente el más alto) y busca el camino a tierra. Si no existe un sistema externo de protección contra el rayo, el impacto y el recorrido hasta tierra se produce de forma incontrolada, a través de las partes conductoras de la estructura como antenas, estructura del hormigón, tuberías o cables. Este paso de la corriente puede producir roturas, chispas (que podrían dar lugar a incendios) y daños a las personas y equipos en el interior. El peligro es mayor en estructuras que contienen elementos tóxicos, inflamables o explosivos, ya que en estos casos los daños pueden extenderse incluso más allá de la estructura sobre la que ha impactado el rayo.

La dispersión de la corriente de rayo en la tierra puede producir lesiones importantes e incluso la muerte de personas por tensión de paso.

El riesgo de impacto en las estructuras se puede calcular siguiendo las normas UNE-21186 (Anexo A), UNE-EN 62305-2 o el Código Técnico de Edificación (CTE-SUA8).

El Documento Divulgativo del INSHT “Riesgos debidos a la electricidad estática” recoge de forma detallada las exigencias del CTE a este respecto, así como dos ejemplos de cálculo del riesgo de impacto que sirven para determinar las exigencias que deben cumplir de los edificios frente a la acción del rayo.

Efectos sobre las líneas. Consecuencias

Las líneas de suministro eléctrico y de telecomunicaciones (teléfono, televisión, datos, etc.) penetran en las estructuras desde el exterior y pueden por tanto introducir parte de la corriente del rayo en un edificio incluso aunque éste disponga de protección externa contra el rayo.

El riesgo de que el impacto en una línea afecte a las personas se incrementa si las líneas son aéreas y no están apantalladas.

También influye la densidad de rayos en la zona y la longitud de las líneas. Parte de la corriente en la línea puede alcanzar a personal que maneja maquinaria conectada a esa línea. Además, la corriente del rayo y las sobretensiones en la línea pueden afectar a equipos de seguridad, por ejemplo, a los frenos de seguridad en ascensores de edificios de gran altura. Asimismo, la corriente del rayo en las líneas puede provocar chispas en zonas con riesgo de explosión.

El riesgo de impacto en las líneas puede calcularse según las normas UNE 21186 (Anexo A) y UNE-EN 62305-2.

3. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO

Los principales riesgos y factores de riesgo relacionados con los fenómenos tormentosos con aparato eléctrico se exponen a continuación.

Choque eléctrico por impacto directo sobre trabajadores situados al aire libre debido a:

La realización de trabajos al aire libre tales como: tareas agrícolas o ganaderas; instalación de equipos en cubiertas, trabajo sobre plataformas petrolíferas, en grandes áreas no cubiertas como aeropuertos, puertos, mantenimiento de instalaciones (por ejemplo: líneas eléctricas, torres de telecomunicaciones, aerogeneradores, etc.); trabajos de obra pública, edificación durante su construcción, etc., en presencia de tormentas con aparato eléctrico.

Choque eléctrico por impacto de un rayo y descarga a través de una estructura o línea de servicio debido a:

Impacto del rayo en una línea de suministro o telecomunicaciones que puede introducir parte de la corriente del rayo en una estructura o en un equipo, teniendo en cuenta además de que las protecciones eléctricas (magneto térmicos y diferenciales) no son lo suficientemente rápidas por el tiempo que tardan en activarse.

Personas en contacto con la línea a través de la estructura o un equipo.

Sobretensiones conducidas e inducidas y por otros efectos eléctricos que pueden producirse daños y la desconexión de equipos electrónicos de seguridad.

Manipulación del material explosivo (por ejemplo: carga y descarga de camiones, emisión de gases, etc.) durante las tormentas.

Trabajos en los que se maneja maquinaria conectada

a líneas eléctricas no protegidas, especialmente si éstas son aéreas y no están apantalladas.

Mal funcionamiento de equipos vitales como sensores de situaciones de riesgo o dispositivos electrónicos de seguridad.

Daños diversos en estructuras debidos a:

Impacto del rayo en estructuras desprotegidas que pueden afectar directa i indirectamente a los trabajadores que se encuentren en su interior.

Incendio y/o explosión debido a:

Impacto del rayo en instalaciones o estructuras en las que se manipule o almacene material altamente inflamable, explosivo o tóxico. (Véase la figura 3).



Figura 3. Ejemplo de daños: incendio en una instalación industrial de almacenamiento producido por un rayo

Este riesgo se puede dar en diversos lugares y circunstancias tales como:

- Trabajos en industrias y oficinas especialmente si están situadas en zonas de alta densidad de rayos y tienen una altura mayor que los edificios o construcciones de su entorno.
- Depósitos de material explosivo donde llegan líneas eléctricas tales como las de los sensores o las de alimentación de las válvulas, por las que se puede introducir parte de la corriente del rayo.
- Industrias que manejan materiales inflamables o peligrosos como por ejemplo: gasolineras, polvorines, refinerías, químicas, farmacéuticas, armamentística, centrales térmicas o nucleares, si las líneas eléctricas llegan a zonas donde una chispa o una sobretensión pueda causar una explosión.
- Lugares públicos con gran concentración de personas (y por tanto con alto riesgo de pánico) como hoteles, hospitales, edificios históricos y religiosos, museos, teatros o estadios.
- Centros de trabajo cuya estructura está compuesta por material inflamable (por ejemplo, madera o paja).
- Labores de vigilancia forestal.
- En hospitales, edificios altos con ascensor, centrales de emergencias (policía, bomberos, defensa).

En la figura 4 se muestran diversos ejemplos de situaciones de riesgo en caso de tormenta.

El incendio producido por un rayo mientras se realizan trabajos en estadios ocupados, durante la celebración de conciertos, etc., puede provocar situaciones con riesgo de pánico con posible avalancha de personas de consecuencias muy graves.



Figura 4. Ejemplos de situaciones de riesgo en caso de tormenta

4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

Las medidas de prevención y protección contra el rayo pueden ser permanentes o temporales. Las primeras (pararrayos y protectores contra sobretensiones) se instalan en las estructuras y los equipos de forma permanente, mientras que las segundas son medidas que se adoptan cuando un sistema de detección local de tormentas alerta de riesgo inminente de impacto de rayo, pero que se desactivan cuando este riesgo ha desaparecido. Las medidas temporales pueden complementar a las permanentes, pero no sustituirlas. Complementariamente se deben fijar normas de seguridad a seguir por los trabajadores potencialmente expuestos.

Medidas permanentes

Pararrayos

El sistema externo de protección contra el rayo tiene como objetivo interceptar el rayo y conducirlo de forma segura a tierra. El sistema consta de:

- Un sistema de captación para interceptar el rayo.
- Un sistema de bajada para conducir la corriente del rayo de forma segura a tierra.
- Un sistema de toma de tierra para dispersar eficazmente la corriente del rayo en tierra.

Además se deben realizar las conexiones equipotenciales necesarias para evitar chispas peligrosas en la estructura.

Los pararrayos son un elemento clave en el sistema externo, ya que es imprescindible captar el rayo para poder posteriormente conducirlo con seguridad. Las normativas actuales distinguen dos tipos de pararrayos:

- Puntas Franklin, también llamadas puntas simples, que se instalan habitualmente en conjunto con otros conductores horizontales o mallados formando un sistema captador en el que debe impactar el rayo. Su instalación debe realizarse siguiendo las norma UNE-EN 62305.
- Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC), que emiten un trazador ascendente que se anticipa a los elementos de su alrededor para captar el rayo. Esto les permite aumentar el radio de protección respecto a las puntas

simples, con la posibilidad incluso de proteger zonas abiertas. Deben cumplir la norma UNE 21186 tanto en su instalación como en los ensayos que se le realizan. Es recomendable que dispongan de un sistema de verificación in situ para poder comprobar su correcto funcionamiento una vez instalados. Véase la figura 5.

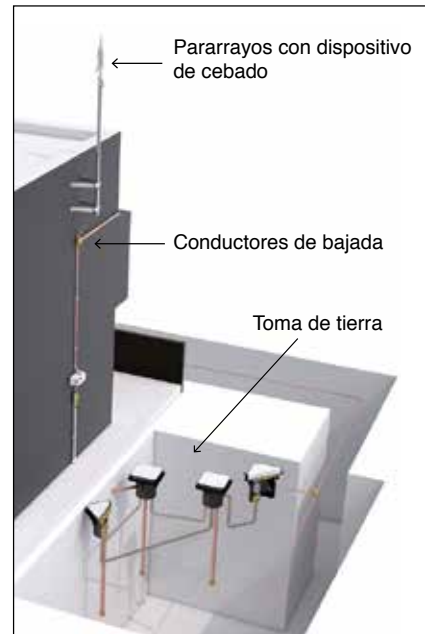


Figura 5. Instalación de protección contra rayos mediante pararrayos con dispositivo de cebado

Las normas mencionadas describen asimismo la disposición de los sistemas de bajada, la toma de tierra y las uniones equipotenciales.

Protección contra sobretensiones

La instalación de protectores contra sobretensiones en las líneas de suministro y telecomunicaciones que penetran en un edificio debe evitar también que se introduzcan corrientes conducidas o inducidas provenientes de un impacto directo que pueden suponer un riesgo para las personas que manejan las maquinarias conectadas. Estas protecciones también evitan que se puedan generar chispas peligrosas en lugares con riesgo de explosión, así como daños a los equipos de seguridad, especialmente a aquellos instalados para evitar otros riesgos laborales, como alarmas o sensores destinados a alertar sobre peligros para los trabajadores, pero que podrían no funcionar debido a sobretensiones transitorias causadas por la corriente del rayo. Véase la figura 6.

Los protectores contra sobretensiones a instalar deben cumplir las normas de la serie UNE-EN 61643, tanto para los ensayos que se les realicen como para su instalación. Los protectores deben cumplir con las siguientes características principales:

- Ser capaces de soportar toda la corriente de rayo que les llega.
- Dejar una tensión que los equipos conectados a la línea sean capaces de soportar.

No todos los protectores son capaces de cumplir ambos requisitos, por lo que habitualmente se coordinan, instalando protectores más robustos donde la línea entra en la estructura y otros más sensibles cerca de los puntos de conexión de los equipos.

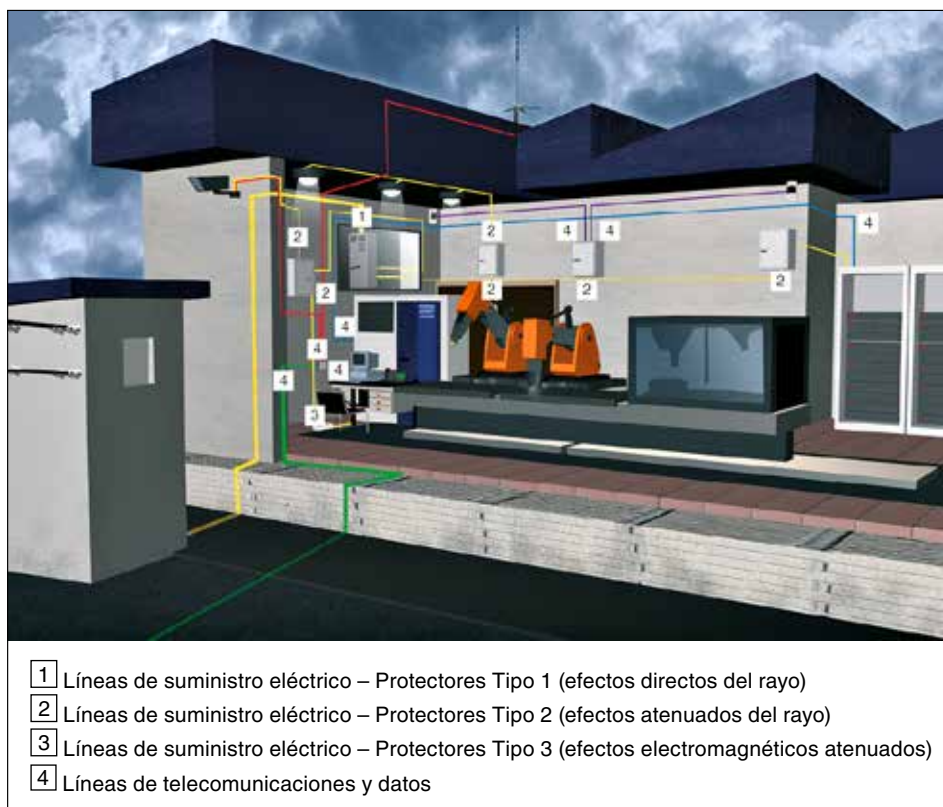


Figura 6. Instalación de protección contra sobretensiones

El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, clasifica los equipos eléctricos y electrónicos en 4 categorías según la tensión que pueden soportar (desde los menos sensibles de 4 kV a los más sensibles de 1,5 kV). Podemos elegir los protectores dependiendo de los equipos eléctricos y electrónicos que se vayan a instalar, aunque es recomendable dejar siempre una tensión residual menor de 1,5 kV por si en un futuro se instalan equipos más sensibles.

Complementariamente para los edificios se debe tener en cuenta el Código Técnico de la Edificación, en concreto su Exigencia Básica SU-8. Seguridad frente al riesgo relacionado con la acción del rayo y la ITC 23. Instalaciones interiores y receptoras. Protección contra sobretensiones del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Asimismo para los equipos de trabajo que sean máquinas, la Directiva de Máquinas 2006/42/CE, transpuesta al ordenamiento jurídico español por el RD. 1644/2008, indica en el Anexo I. Requisitos esenciales de seguridad y salud relativos al diseño y fabricación de máquinas, apartado 1.5.16 Rayos, que las máquinas que requieran protección contra los efectos de los rayos durante su utilización, deberán estar equipadas con un sistema que permita conducir a tierra la carga eléctrica resultante.

Medidas temporales

DetECCIÓN LOCAL DE TORMENTAS. DETECTORES

La detección local de tormentas permite adoptar medidas preventivas temporales mediante la instalación de detectores que evitan el riesgo durante el tiempo en que exista peligro de caída de rayo (por ejemplo, llenado de depósitos de combustibles, labores de mantenimiento o trabajos de construcción en zonas abiertas a gran altura),

sin menoscabo de que lo recomendable es cesar toda actividad mientras dure la tormenta.

El cálculo de riesgo para estimar la necesidad de instalar detectores así como los tipos existentes están descritos en la norma UNE-EN 50536. Según dicha norma, existen cuatro tipos de detectores:

- Clase I: Detectan una tormenta durante todo su ciclo de vida, desde su fase inicial en la que se electrifica la nube (fase 1) hasta su disipación (fase 4). Para poder detectar la fase de formación de la tormenta los detectores deben ser capaces de medir el campo electrostático, lo que se consigue con molinos de campo o con sensores electrónicos sin partes móviles (lo que evita problemas de obstrucciones y fallos en el motor). Son los adecuados para evitar los riesgos para los trabajadores.
- Clase II: Detectan las descargas en el interior de la nube y entre nube y tierra, por tanto las fases de crecimiento, madurez y disipación de la tormenta (fases 2 a 4).
- Clase III: Detectan solamente las descargas entre nube y tierra, por tanto únicamente las fases madurez y disipación de la tormenta (fases 3 y 4).
- Clase IV: Detectan las descargas entre nube y tierra (fase 3) y otras fuentes electromagnéticas con un rendimiento muy limitado.

Para que las medidas sean eficaces es necesario un cierto tiempo de ejecución anterior al impacto del rayo, por ejemplo para evacuar una zona. Por esto es importante que el equipo detecte todas las fases de la tormenta desde su fase inicial (detectores de Clase I) y tener el tiempo suficiente para tomar las medidas previstas de protección de los trabajadores. El detector debe estar por tanto instalado en la estructura a proteger, y gracias a las tecnologías actuales de comunicación, la recepción de la señal del detector y la decisión de activar las alarmas

puede realizarse desde una localización remota mediante un servicio centralizado de detección. Véase la figura 7.

Normas de seguridad complementarias

Los trabajadores deben estar informados, sobre los lugares que disponen de protección contra el rayo, tanto en interiores como en trabajos al aire libre. También deben estar informados de las líneas que disponen de protección contra sobretensiones, sobre todo para situaciones de tormenta con aparato eléctrico.

La información sobre las normas de seguridad en caso de tormenta con aparato eléctrico, debe contener como mínimo las siguientes instrucciones:

- Se deben suspender los trabajos al aire libre y cobijarse en un lugar que disponga de protección contra el rayo. Si no existiera en un lugar próximo un edificio con protección contra el rayo, un vehículo (cubierto y parado) puede servir de protección.
- En el caso de que no haya ningún refugio próximo se debe como mínimo, alejarse de los lugares elevados y de los árboles aislados, reducir al mismo tiempo la propia altura (por ej. ponerse de cuclillas) y la superficie en contacto con el suelo (juntar los pies) y no poner las manos sobre cualquier objeto conectado a tierra.
- Evitar el manejo de material que pueda producir gases inflamables.
- Desconectar los equipos eléctricos y electrónicos de líneas externas no protegidas contra sobretensiones.

En relación a la utilización de equipos de trabajo que puedan ser alcanzados por rayos, de acuerdo con el RD.1215/1997, Anexo II. Punto 1.12, los mismos deben ser



Figura 7. Detector de tormentas instalado sobre un edificio con zonas abiertas

protegidos contra sus efectos por dispositivos o medidas adecuadas. Para ello puede ser muy útil la norma NFPA 780 referente a la instalación de sistemas de protección contra el rayo.

BIBLIOGRAFÍA

Normativa legal

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Normativa técnica

UNE 21186:2011. Protección contra el rayo: Pararrayos con dispositivo de cebado. AENOR

UNE-EN 62305-1:2011. Protección contra el rayo. Parte 1: Principios generales. AENOR

UNE-EN 62305-2:2012. Protección contra el rayo. Parte 2: Evaluación del riesgo. AENOR

UNE-EN 62305-3:2011. Protección contra el rayo. Parte 3: Daño físico a estructuras y riesgo humano. AENOR

UNE-EN 61643-11:2013. Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias de baja tensión. Parte 11: Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias conectados a sistemas eléctricos de baja tensión. Requisitos y métodos de ensayo. AENOR

UNE-EN 50536:2011/A1:2013. Protección contra el rayo. Sistemas de aviso contra tormentas. AENOR

NFPA 780:2008. Norma para la instalación de sistemas de protección contra el rayo. National Fire Protection Association.

Empresa colaboradora:

APLICACIONES TECNOLÓGICAS, S.A.

Parque Tecnológico de Valencia. C/ Nicolás Copérnico, 4 -46980-Paterna. Valencia