

“RIESGO DE INCENDIO DEBIDO A RAYOS”

Autor: Ing. Frank Amores Sánchez
Cargo: Especialista B de Protección Contra Incendios.
UEB: APCI Desarrollo y Certificación.
Empresa: Agencia de Protección Contra Incendios
Teléfono: 866-5225 al 28, ext. 210
e-mail: frank@apci.cu

RESUMEN

El fenómeno del rayo, en países de áreas geográficas con similar actividad ceráunica a la de Cuba, es una causa importante de surgimiento de incendios con significativas lesiones a las personas y pérdidas económicas. El presente trabajo, deducido a partir de la Metodología de Gestión de Riesgos por Impactos de Rayos y Sobretensiones establecido por la NC IEC 62605-2, pretende establecer un procedimiento específico de identificación, evaluación y gestión de los riesgos relacionados con el incendio y la explosión originados por esta causa.

INTRODUCCIÓN

Los rayos son fenómenos naturales y no existen dispositivos ni métodos capaces de impedir su ocurrencia. Al impactar en las edificaciones, los servicios conectados a las mismas o en la tierra cercana, son peligrosos para las personas, las edificaciones en sí mismas, su contenido y sus instalaciones.

La protección contra rayos y sobretensiones transitorias se ha hecho mucho más compleja e importante en los últimos años. La introducción masiva de sistemas electrónicos en los diversos sectores de la economía, interconectados dentro de las mismas edificaciones y fuera de éstas, los ha hecho más vulnerables a estos fenómenos, debido a la mayor susceptibilidad de estos sistemas. Además de por los rayos, estos equipos también son afectados por las sobretensiones transitorias originadas por maniobras en el sistema eléctrico o por fallas.

1. EFECTOS DEL RAYOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS Y LOS SERVICIOS

La siguiente tabla reporta los efectos del rayo sobre varios tipos de estructuras.

Tipo de estructura de acuerdo a su función y/o contenido	Efectos del rayo
Casa de vivienda	Perforación de las instalaciones eléctricas, incendio y daño material Daño normalmente limitado a objetos expuestos al punto de impacto o a la vía de la corriente del rayo Fallo de los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos instalados (ejemplo: televisores, computadoras, módems, teléfonos, etc.)
Edificio agrícola	Riesgo primario de incendio y peligro de tensión de paso así como daños materiales Riesgo secundario debido a pérdida de la energía eléctrica, y peligro para la vida de animales útiles debido a fallo del control electrónico de los sistemas de

	suministro de ventilación y alimento, etc.
Teatro, Hotel, Escuela, Tienda por departamentos, Área deportiva	Daño a las instalaciones eléctricas (ejemplo: iluminación eléctrica) que probablemente cause pánico Fallo de alarmas de incendio que provocan medidas retardadas de lucha contra el incendio
Banco, Compañía de seguro, Compañía comercial.	Como las anteriores, más los problemas que resultan de la pérdida de comunicación, fallo de computadoras y pérdida de datos
Hospital, Casa de cuidados, Prisión	Como las anteriores, más problemas de personas en cuidados intensivos, y las dificultades del rescate de personas inmóviles
Industria	Efectos adicionales que dependen del contenido de las fábricas, yendo desde menores hasta daños inaceptables y pérdida de producción
Museo, Sitio Arqueológico e Iglesia	Pérdida de herencia cultural irremplazable
Telecomunicaciones, Plantas eléctricas	Pérdida inaceptable de servicios para el público
Fábrica de explosivos, Fábrica de municiones	Consecuencias de incendio y explosión para la planta y sus alrededores
Planta química, Refinería, Planta nuclear , Laboratorios, plantas bioquímicas	Incendio y malfuncionamiento de la planta con consecuencias desfavorables para el ambiente local y global

Esta tabla muestra los efectos del rayo sobre varios tipos de servicios.

Tipo de servicio	Efectos del rayo
Línea de telecomunicaciones	Daño mecánico a la línea, fusión de los blindajes y conductores, ruptura del aislamiento del cable y el equipamiento produciendo un fallo primario con pérdida inmediata del servicio Fallos secundarios en los cables de fibra óptica con daños al cable pero sin pérdida del servicio
Línea eléctrica	Daños a aisladores de líneas aéreas de baja tensión, perforación del aislamiento de la línea del cable, ruptura del aislamiento del equipamiento y transformadores de línea , con pérdida significativa del servicio
Tubería de agua	Daños al equipamiento de control eléctrico y electrónico que probablemente cause pérdida del servicio
Tubería de gas, Tubería de combustible	Perforación de las juntas tipo collar no metálicas que probablemente cause incendio y/o explosión. Daños al equipamiento de control eléctrico y electrónico que probablemente cause pérdida del servicio

Las descargas directas sobre una estructura pueden provocar:

- Daños mecánicos directos, incendio y/o explosión debido al propio arco de plasma caliente del rayo, a la corriente que produce sobrecalentamiento óhmico de los conductores o a la carga eléctrica que produce una erosión de arco (fusión del metal).
- Incendios y/o explosiones iniciados por chispas producidas por las sobretensiones resultantes de acoplamientos resistivos e inductivos y por la circulación de una parte de la corriente del rayo.

Las **descargas directas sobre un servicio conectado a la estructura** pueden provocar:

- Incendios y/o explosiones iniciados por chispas producidas por las sobretensiones y corrientes de rayo transmitidas a través de los servicios conectados a la estructura.

Cuando existe un SPCR instalado, son muy importantes las medidas de equipotencialización para reducir los daños por incendio y explosión y los peligros para la vida.

Para la reducción de los daños físicos deben tomarse provisiones que limiten el desarrollo y propagación del incendio tales como compartimentos a prueba de fuego, extintores portátiles, hidrantes y sistemas de detección y extinción de incendio.

Los cálculos de elevación de temperatura de los conductores a través de los cuales circula el impulso del rayo, pueden ser necesarios si existe riesgo para las personas y de incendio o explosión y tienen que tomarse en cuenta durante el diseño e la instalación de los sistemas de protección contra rayos.

El objetivo de un sistema de protección contra rayos es proteger los edificios del impacto directo de rayo y posibles incendios o de las consecuencias de la corriente activa del rayo independiente de la carga (descargas de rayo que no provocan ignición).

Los sistemas de protección contra rayos se requieren siempre en estructuras con riesgo de incendio tales como: grandes fábricas de procesamiento de madera, edificios con techos de paja, plantas de almacenaje y producción con alta carga combustible.

Las instalaciones metálicas tales como las tuberías de agua y aire acondicionado, producen lazos en la estructura en los cuales se inducen tensiones impulsivas debido al campo magnético del rayo que cambia rápidamente. Estas tensiones deben evitarse porque causan descargas incontroladas que pueden provocar incendios.

Algunos ejemplos significativos de incendios o explosiones provocadas por rayos:

- Explosión de un tanque de petróleo por impacto de rayo e incendio de otros 6 tanques vecinos en la refinería Pertamina en Cilacap en la costa sur Indonesia en octubre de 1995. Causa: Incompleta unión equipotencial.

- Explosión de varios tanques de fuel por impacto de rayo en la refinería de Trzebinia, cerca de Krakau en Polonia en mayo de 2002. Los bomberos no pudieron controlar el incendio. Causa: Incompleto sistema de protección contra rayos.
- Explosión de un depósito de municiones de la fuerza aérea por impacto de rayo en la región de Chita, Rusia en 2001.
- Interrupción total del tráfico de ferrocarril en Krefeld, Alemania, el 22 de Junio de 2002 por impacto de rayo cerca de la estación central. Las instalaciones técnicas de la torre de interruptor se quemaron. Debido al fallo de energía también algunas barreras no funcionaron más.
- Bloqueo de tráfico aéreo por más de 2 horas por impacto de rayo en la torre de control del aeropuerto de Frankfurt, Alemania, en 1992. 70 vuelos de salida pospuestos y 40 vuelos de llegada direccionados a otros aeropuertos. El sistema de extinción por gas no funcionó adecuadamente.
- Incendio sobre las válvulas de alivio del techo de un tanque de almacenamiento de crudo debido a un impacto directo de rayo el 28 de marzo de 2000 en Colombia. Como daño adicional se produjo el paro general en la fase II del área de máquinas y la destrucción de las redes de control de las instalaciones.
- Incendio del buque tanque "Opón" perteneciente a la Tropical Oil cargado de gasolina etílica estalló en llamas debido a un impacto directo de rayo en el puerto de Cantimplora, río Magdalena, en el Departamento de Antioquia, Colombia. Murieron al menos 20 tripulantes.
- Incendio de un tanque petrolero debido al impacto de un rayo en noviembre de 1994, Dronka, Egipto. Murieron 530 personas y se afectaron las instalaciones aledañas. Causa: estaba sin efecto la conexión a tierra.

2. DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO DEBIDO A RAYOS

Únicamente las chispas que llevan corriente del rayo (total o parcial) presentan la energía suficiente para ser consideradas capaces de iniciar un incendio. Esto ocurre sólo cuando se presentan las fuentes de daño S_1 (descarga directa sobre la estructura) o S_3 (descarga directa sobre el servicio).

$$R_F = R_B + R_V$$

donde:

R_F : Riesgo de daño físico debido a incendio o explosión.

R_B: Componente relacionado con los daños físicos producidos por chispas en el interior de la estructura, causantes de incendio o explosiones que también pueden afectar al ambiente.

R_V: Componente relacionado con los daños físicos producidos por la corriente del rayo transmitida a través de las líneas entrantes (incendio o explosión generados por chispas peligrosas producidas, generalmente, en el punto de entrada de la línea a la estructura, entre la instalación externa y las partes metálicas).

Factores de los cuales dependen las componentes del Riesgo de incendio (R_F):

R_B depende de:

- Superficie de captación de la estructura.
- Existencia de un SPCR externo.
- Existencia de medidas de protección contra incendios.
- Sensibilidad al fuego.
- Peligro especial

R_V depende de:

- Superficie de captación.
- Existencia de un SPCR externo debido a la conexión equipotencial.
- Apantallamiento de las líneas externas.
- Existencia de medidas de protección contra incendios.
- Sensibilidad al fuego.
- Peligro especial
- Tensión de soporte a impulso de los sistemas internos.

Cada componente de riesgo puede expresarse por medio de la siguiente ecuación general:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X$$

donde:

N: Número medio anual de sucesos peligrosos

P: Probabilidad

L: Pérdida resultante

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$$

donde:

N_D Valor medio anual de sucesos peligrosos debido a descargas directas en la estructura.

P_B Probabilidad de que una descarga en la estructura produzca daños físicos.

L_B Pérdida debida a daños físicos.

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot (r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f)$$

donde:

r_p Factor reductor de las pérdidas debido a medidas de protección contra incendio

- h_z Factor amplificador de las pérdidas por daños físicos.
 r_f Factor reductor de las pérdidas debido a la sensibilidad al fuego de la estructura
 L_f Pérdidas debidas a daños físicos.

$$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

donde:

- N_g Densidad de descargas a tierra (días de tormenta/Km².año)
 $A_{d/b}$ Superficie de captación de la estructura aislada.
 C_d Factor de localización de la estructura.

$$N_g = 0,1 \cdot N_c$$

donde:

- N_c Densidad de descargas a tierra (días de tormenta/año) y se determina mediante del Mapa de Niveles Isoceráunicos del país.
 $A_{d/b}$ Se determina afectando el área de planta de la estructura por 3 veces su altura.

Factor de localización de la estructura (C_d)	
0,25	Estructura rodeada por objetos más altos.
0,5	Estructura rodeada por objetos iguales o más bajos.
1	Estructura aislada.
2	Estructura en la cima de una colina.

Probabilidad de que una descarga directa en la estructura produzca daños físicos (P_B)	
1	Sin SPCR
0,2	Con SPCR Nivel IV
0,1	Con SPCR Nivel III
0,05	Con SPCR Nivel II
0,02	Con SPCR Nivel I
0,01	Con SPCR Nivel I con armaduras metálicas continua o de hormigón armado actuando como bajantes.
0,001	Con SPCR Nivel I con techo metálico o con sistema de captura (incluyendo componentes naturales) con protección completa de las instalaciones en la cubierta y con armaduras metálicas continua o de hormigón armado actuando como bajantes.

Factor reductor de las pérdidas debido a las medidas de protección contraincendios (r_p)	
1	Sin medidas
0,5	Sistemas manuales: extintores, instalaciones fijas de extinción manual, instalaciones manuales de alarma contra incendios, tomas de agua, compartimentos a prueba de fuego, vías de evacuación.
0,2	Sistemas automáticos: instalaciones fijas de extinción automática, instalaciones automáticas de alarma contra incendios protegidas contra sobretensiones y los bomberos pueden llegar en menos de 10 min.
Nota 1: Si existen más de una medida de protección se toma el valor más bajo.	
Nota 2: En estructuras con riesgo de explosión se toma valor 1.	

Factor amplificador de las pérdidas debido a daños especiales (h_z)	
1	Sin daño especial
2	Nivel bajo de pánico (estructuras limitadas a 2 niveles y cantidad de personas inferior a

	100)
5	Nivel medio de pánico (estructuras destinadas a eventos culturales o deportivos con cantidad de personas entre 100 y 1000) o dificultad de evacuación (estructuras con personas inválidas, hospitales)
10	Nivel alto de pánico (estructuras destinadas a eventos culturales o deportivos con cantidad de personas superior a 1000)
20	Riesgos para el medio ambiente o los alrededores
50	Contaminación del medio ambiente o de los alrededores

Factor reductor de las pérdidas debido al riesgo de incendio de la estructura (r_f)	
1	Riesgo de explosión
0,1	Riesgo de incendio alto
0,01	Riesgo de incendio normal
0,001	Riesgo de incendio bajo
0	Ninguno

Pérdidas debidas a daños físicos (L_f)	
0,1	Hospitales, hoteles, edificios civiles.
0,05	Edificios comerciales, industriales, escuelas.
0,02	Entretenimiento público, iglesias, museos.
0,01	Otros.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \cdot P_V \cdot L_V$$

donde:

N_{Da} Valor medio anual de sucesos peligrosos para la estructura adyacente.

N_L Valor medio anual de sucesos peligrosos debido a descargas en el servicio

P_V Probabilidad de que una descarga en el servicio produzca daños físicos.

L_V Pérdida debida a daños físicos.

$$R_V = (N_L + N_{Da}) \cdot P_V \cdot (r_p \cdot h_z \cdot r_f \cdot L_f)$$

Como puede apreciarse L_V se calcula igual a L_B .

$$N_L = N_g \cdot A_l \cdot C_d \cdot C_t \cdot 10^{-6}$$

La ecuación para calcular N_{Da} es la misma que para N_D .

donde:

A_l Superficie de captación del servicio

C_t Factor del transformador

El valor medio anual de sucesos peligrosos por descargas directas en las líneas que penetran al edificio N_L tiene que determinarse para cada una de éstas. El impacto de rayo dentro del área de captura de la línea A_l provoca, por lo general, un evento de alta energía que puede iniciar incendio, explosión y reacciones mecánicas o químicas. Por tanto, N_L no comprende las sobretensiones puras que provocan fallas o daños en los sistemas eléctricos

y electrónicos, sino los efectos mecánicos y térmicos que aparecen cuando impactan los rayos.

Para líneas aéreas:

$$A_l = (L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)) \cdot 6 \cdot H_c$$

donde:

L_c	Longitud de la sección de servicio desde la estructura hasta el primer nodo. Debe considerarse una longitud máxima de 1 Km.
H_a	Altura de la estructura conectada al extremo "a" del servicio
H_b	Altura de la estructura conectada al extremo "b" del servicio
H_c	Altura de los conductores del servicio sobre el terreno

Probabilidad de que la descarga en el servicio produzca daños físicos (P _v)					
Cuando no se emplean SPD para la conexión equipotencial del SPCR _{INT} , P _v =P _{LD}				Cuando se emplean SPD para la conexión equipotencial del SPCR _{INT} , P _v = valor más pequeño entre P _{SPD} y P _{LD}	
U _w (KV)	Rs=5~20 Ω/Km	Rs=1~5 Ω/Km	Rs≤1 Ω/Km	Nivel de protección	P _{SPD}
1,5	1	0,8	0,4	Sin SPD coordinados	1
2,5	0,95	0,6	0,2	III-IV	0,03
4	0,9	0,3	0,04	II	0,02
6	0,8	0,1	0,02	I	0,01
Para un servicio sin apantallar P _{LD} =1				Son posibles valores más bajos en caso de que las características de los SPD (mayor I _N , menor U _p) sean superiores a los requisitos del NPR I en los diferentes puntos de la instalación.	0,005 - 0,001

donde:

U_w: Tensión soportada al impulso del equipamiento.

R_s: Resistencia de la pantalla del cable.

Medidas de protección para reducir las consecuencias del incendio

Las medidas de protección contra incendios permiten disminuir los valores de los riesgos que tienen que ver con los daños físicos a la estructura.

Estas pueden ser: Manuales, Automáticas o la combinación de ambas.

Medidas manuales:

Dentro de las medidas manuales están los sistemas manuales de extinción (como los extintores portátiles, los hidrantes exteriores, las bocas de incendio equipadas, etc.), los dispositivos de aviso de incendio (como los pulsadores manuales asociados a los sistemas de alarma de incendio) y la compartimentación de los recintos (diseño constructivo que permita la operatividad funcional pero a la vez impida la propagación del fuego de unos

recintos a otros, con el adecuado tratamiento de los huecos existentes, tanto para paso de personas como de canalizaciones).



Componentes de un sistema de extinción manual



Componentes de un sistema manual de alarma contra incendio.

Medidas automáticas:

Dentro de las medidas manuales están los sistemas automáticos de extinción (por rociadores agua o por gases), materiales ignífugos (utilizando materiales de construcción no combustibles o limitando la combustibilidad de los materiales de revestimiento, acabado y decoración mediante un tratamiento de ignifugación) y sistemas de detección automática de incendio.



Componentes de un sistema de extinción automático.



Componentes de un sistema automático de detección de incendios.

Las tareas del presente trabajo serían:

- Establecer los valores tolerables de riesgo debido a incendio de pérdidas de vidas humanas y de pérdidas económicas para establecer la comparación con los valores calculados y, en consecuencia, determinar la aplicabilidad desde el punto de vista técnico de las medidas de protección contra incendio.
- Identificar mediante pesos porcentuales los parámetros que más aportan a riesgos parciales R_B y R_v para de este modo tipificar las medidas de protección que serían más efectivas a implementar en cada caso.

De análisis matemático de las ecuaciones que establecen estos riesgos parciales pudo determinarse que los parámetros que mayor peso son

Para R_B : r_f, h_z, N_C, C_d, P_b y

Para R_v : $r_f, h_z, N_{Da}, P_v, L_f$.

El parámetro que mayor peso tiene sobre dichos riesgos parciales es el riesgo de incendio r_f , a tal punto que puede hacerlos nulos.

Posibles medidas de protección para conseguir la reducción de:

- r_f : Uso de medios de detección y extinción de incendios manuales y automáticos.
- P_b : Uso de SPCR con el Nivel de Protección contra Rayos adecuado, incluyendo la posibilidad de apantallamiento espacial.
- P_v : Uso de apantallamiento de las líneas y de SPDs.

El resto de los parámetros, aunque presentan un índice de influencia considerable, poco puede hacerse una vez que están definidas las características de edificio y las líneas, pero deberán tomarse en consideración a la hora de planificar una nueva edificación.

3. BIBLIOGRAFÍA

- NC IEC 62305: 2006 "Protección contra rayos" – Parte 1: Principios generales, Parte 2: Gestión de riesgos.