

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DAÑO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN A CAUSA DE LOS RAYOS, BAJO LA METODOLOGÍA IEC

CARLOS ALBERTO AVENDAÑO AVENDAÑO

Ingeniero Electricista (1998) y Especialista en Alta Tensión (2001) Universidad Nacional de Colombia. Profesor adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas de la Universidad Distrital F.J.C. GIPUD.
calitoave@hotmail.com.

HENRY FELIPE IBÁÑEZ OLAYA

Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia (1994). Especialista en Control Universidad de los Andes (1999). Profesor adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador del Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas de la Universidad Distrital F.J.C. GIPUD.
hibanez@multi.net.co

HELMUTH EDGARDO ORTÍZ SÁNCHEZ

Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia (1998). Profesor adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Investigador del Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas de la Universidad Distrital F.J.C. GIPUD.
helmuthos@ieec.org

Clasificación
Categoría Colciencias: 1

Fecha de recepción: 21-04-2003

Fecha de aceptación: 30-05-2003

Palabras claves: Evaluación de riesgo, protección contra rayos, protección contra sobretensiones.

Key Words: Risk assessment, lightning protection, overvoltage protection.

1. Introducción

Desde su creación en el año 2002, el Grupo de Investigación en Protecciones Eléctricas (Gipud) ha estudiado las diferentes causas por las cuales se presentan sobretensiones en sistemas eléctricos, sus consecuencias, técnicas para evaluar el riesgo

de estas sobretensiones, así como metodologías y equipos para mitigarlas. Las actividades han comprendido investigaciones, trabajos de grado y participación en Comités Técnicos de Normalización promovidos por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (Icontec).

Las sobretensiones transitorias de origen atmosférico son la mayor causa de fallas de sistemas eléctricos, y en especial de la destrucción de equipo electrónico sensible. Para atenuar estos efectos se emplean diferentes técnicas como: diseño del Sistema de Protección Externo contra Rayos (SPE), uso de Dispositivos de Protección contra Sobretensiones Transitorias (DPS), apantallamiento de conductores de potencia, datos y control, sistemas de puesta a tierra y técnicas de equipotencialización, entre otros.

Para diseñar sistemas de protección se inicia con la evaluación del nivel de riesgo de las instalaciones ante los rayos; los resultados definen pautas de diseño que garantizan un grado aceptable de confiabilidad a un menor costo.

El proceso de evaluación permite la obtención de información importante, por ejemplo: a) magnitudes máximas y mínimas de los parámetros del rayo en la implementación del método electrogeométrico; b) magnitud de corriente para dimensionar los conductores de bajantes del SPE. DPS, distancias de seguridad y medidas de protección para tensiones de paso y contacto.

Realizar esta evaluación permite ahorrar costos significativos en instalaciones con bajo nivel de riesgo, las cuales no necesitan un sistema integral de protección contra rayos; también posibilita la especificación efectiva de las medidas requeridas por un sistema altamente expuesto.

La metodología descrita en la norma internacional IEC es altamente rigurosa y requiere de la evaluación de múltiples factores, que la hacen muy poco atractiva a nivel de aplicaciones de ingeniería. Por esta razón, la implementación de su metodología en una herramienta de software, que además señale pautas de diseño de un sistema integral de protección contra rayos, es un producto de gran ayuda para el ingeniero de diseño.

2. Principios generales

El riesgo de falla de un sistema eléctrico depende de las siguientes variables:

- Densidad de rayos a tierra del lugar
- Parámetros de la corriente de rayo
- Soportabilidad de los equipos ante sobretensiones
- Implementación de medidas de protección

Estas variables presentan un comportamiento aleatorio, por lo cual su interacción con el sistema a evaluar debe ser estudiada a la luz de un análisis de tipo probabilístico. Si la probabilidad de que una descarga impacte en una estructura se correlaciona con la probabilidad de que produzca daño, es posible demostrar que el riesgo anual de falla se puede expresar por la ecuación (1).

$$R = (1 - e^{-N * P * t}) * \delta \quad (1)$$

En la ecuación anterior:

N: Promedio anual de impactos de rayos sobre el sistema

P: Probabilidad de daño del sistema ante los efectos del rayo

t: Tiempo en años

δ : Coeficiente que involucra aspectos económicos y sociales sobre las consecuencias de falla del sistema.

El producto N*P representa el número promedio de fallas anuales del sistema para la condición P, como lo muestra la ecuación (2).

$$F = N * P \quad (2)$$

Si $t = 1$ año, y $N * P \lll 1$, la ecuación (1) se convierte en la ecuación (3).

$$R = F * \delta \quad (3)$$

3. Evaluación del riesgo

Para realizar la evaluación del riesgo deben conocerse los diferentes tipos de fallas que pueden originarse como consecuencia de una descarga atmosférica, directa o cercana a la edificación o a sus acometidas de servicios.

Las fallas se clasifican en cinco tipos; los riesgos de cada uno deben evaluarse en forma independientemente. Ellos son:

- 1) Lesiones o pérdidas de vidas humanas
- 2) Falla inaceptable de servicio público
- 3) Pérdida de valores irremplazables de patrimonio de la humanidad
- 4) Pérdida que no implican algún elemento humano, cultural o social
- 5) Pérdida como la de tipo 4, pero que no envuelve equipo electrónico indispensable

Debido a esta clasificación, la ecuación (3) se puede expresar como:

$$R_j = F_j * \delta_j \quad (3a)$$

Donde j es cada uno de los tipos de falla a ser evaluado.

Las fuentes que pueden producir los tipos de falla mencionados son:

- S1: tensiones de paso y contacto por impactos directos de rayo¹
- S2: incendios, explosiones, efectos mecánicos por impactos directos de rayo
- S3: sobretensiones en equipos por impactos directos de rayo
- S4: sobretensiones en equipos por impactos indirectos de rayo²
- S5: incendios, explosiones, efectos mecánicos por impactos indirectos de rayo

Cada tipo de falla puede ser causada por diferentes fuentes de daño. A la relación existente entre los diferentes riesgos de falla y las posibles fuentes de daño se las denomina *matriz de vulnerabilidad*; esta matriz se presenta en la Tabla 1.

Tipo de falla	Fuente de falla				
	Impacto directo			Impacto indirecto	
	S1	S2	S3	S4	S5
1	1	1			1
2	1	1	1	1	
3	1			1	
4	1	1	1	1	
5	1			1	

Tabla 1. Matriz de Vulnerabilidad (IEC, 1995).

Cada riesgo de daño puede expresarse como la suma de tres diferentes componentes, como se presenta en la ecuación (4).

$$R = Rd + Ri + Ro \quad (4)$$

En la anterior ecuación:

$$Rd = Nd * P * \delta \quad (5)$$

Componente relacionada con impactos directos.

$$Ri = Nn * P * \delta \quad (6)$$

Componente relacionada con impactos próximos al sistema

$$Ro = Nk * P * \delta \quad (7)$$

Componente relacionada con impactos sobre acometidas de servicios.

En las ecuaciones (5) a (7):

Nd: frecuencia anual de impactos directos a la edificación

Nn: frecuencia anual de impactos indirectos

Nk: frecuencia anual de impactos a las acometidas eléctricas

Para evaluar el nivel de riesgo de cada una de las posibles cinco formas de falla deben determinarse los parámetros: N_d , N_n , N_k , F y δ . No es necesario determinar los coeficientes R_d , R_i y R_o , pues ellos están implícitamente contemplados en el procedimiento que se explica a continuación.

.....

¹ Rayo que impacta directamente sobre una edificación o a una distancia no mayor a 1/3 de la altura de la misma.

² Rayo que impacta en las cercanías de la estructura a una distancia mayor a 1/3 de la altura de la misma y menor a 500 m.

3.1. Frecuencia anual de impactos directos (N_d)

El promedio anual de impactos directos de rayo sobre la estructura se encuentra dado por la ecuación (8).

$$Nd = Ng * Ae \quad (8)$$

En (8):

Ng: densidad de rayos a tierra del lugar donde se encuentra la edificación

Ae: área efectiva de la edificación

El área efectiva se determina como lo indica la Figura 1³ (IEC, 2000: 26).

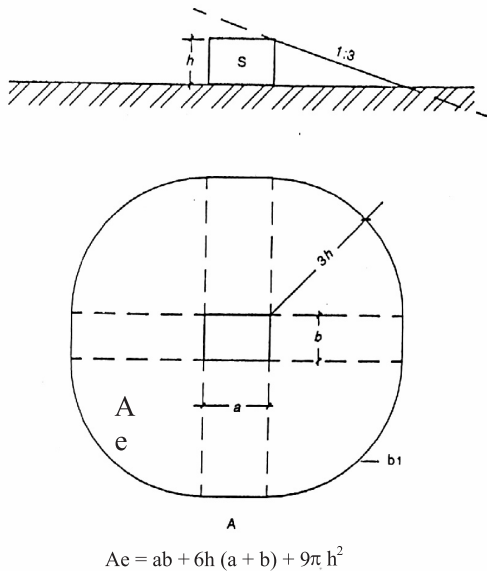


Figura 1. Área efectiva (Ae).

3.2. Frecuencia anual de impactos cercanos a la estructura (N_n)

El promedio anual de impactos próximos a la estructura, que origina elevaciones del potencial de tierra que pueda influenciarla directamente o a sus acometidas de servicios, se encuentra dado por la ecuación (9).

$$Nn = Ng * Ag \quad (9)$$

En la ecuación anterior:

Ag: área circunvecina a la edificación.

El área circunvecina se determina como lo indica la Figura 2. El área interior es Ae y el radio exterior (expresado en metros) es igual a la magnitud de la resistividad del terreno - ρ (expresada en Ωm) y no superior a 500 m.

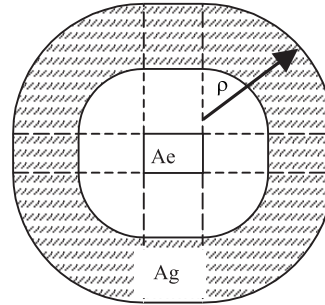


Figura 2. Área circunvecina (Ag).

3.3. Frecuencia anual de impactos en acometida de servicios (N_k)

El promedio anual de impactos en las acometidas de servicios, que origina elevaciones de potencial al interior de la edificación se encuentra dado por la ecuación (10).

$$Nk = Ng * Ak \quad (10)$$

En (10):

Ak: área de influencia de la acometida (área del corredor de la acometida)⁴.

3.4. Cálculo de frecuencia de daño anual según el tipo de falla (Fj)

Para determinar el número de fallas al año que pueden presentarse en condición de falla se

.....

³ Esta área puede ser menor si hay estructuras próximas al sistema a proteger.
⁴ Las dimensiones de este corredor son: ancho (en metros) igual a la resistividad - ρ del terreno (en Ω m); largo igual a longitud de la acometida.

suman las frecuencias de daño anual debidas a cada una de las fuentes de falla, como se presenta en la matriz mostrada en la Tabla 2 (IEC 61662, 1995).

Tipo de falla	COMPONENTE DE FRECUENCIA DE DAÑO						
	Impactos directos			Impactos indirectos			
	H	A	D	B	C	E	G
1	1	1	0	1	1	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1
3	0	1	0	1	1	0	0
4	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0	0

Tabla 2. Matriz de frecuencia de fallas (IEC61662,1995).

El número 1 indica que la componente se debe tener en cuenta para calcular la frecuencia de daño para el tipo de falla determinado.

En la Tabla 2:

H: número de daños por tensiones de paso y contacto al año

A: número de daños debidos a incendios o explosiones por impactos directos de rayo

B: número de daños por impactos en áreas próximas a la instalación

C: número de daños debidos a incendios o explosiones por impactos indirectos de rayo

D: número de daños por impactos directos de rayo

E: número de daños por sobretensiones debidas a impactos en proximidades

G: número de daños por sobretensiones debidas a impactos en acometidas de servicios.

Los factores H, A, B, C, D, E, G se calculan como lo muestran las ecuaciones (11) a (17).

$$H = Nd * Ph \tag{11}$$

$$A = Nd * Pt * (P1 + P2 + P3 + P4) \tag{12}$$

$$B = Nn * Pt * P3 \tag{13}$$

$$C = Nk * Pt * P3 \tag{14}$$

$$D = Nd * (P2 + P3) \tag{15}$$

$$E = Nn * P3 \tag{16}$$

$$G = Nk * P3 \tag{17}$$

En las anteriores ecuaciones:

P_h : probabilidad de lesión debido a tensiones de paso o contacto (ver Anexo Tabla A1).

P_t : probabilidad de que una chispa produzca un incendio o una explosión (ver Tabla A2).

P_1 : probabilidad de que una chispa peligrosa afecte una instalación metálica (ver Tabla A3).

P_2 : probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las acometidas eléctricas internas de la estructura (ver Tabla A3).

P_3 : probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las acometidas de distribución de la estructura (ver Tabla A4).

P_4 : probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las partes conductoras externas a la estructura (ver Tabla A5).

Finalmente, la frecuencia de daño anual (F) se calcula como lo indican las ecuaciones (18) a (20).

$$Fd = H + A + D \tag{18}$$

Frecuencia de daño anual debida a impactos directos.

$$\tag{19}$$

Frecuencia de daño anual debida a impactos indirectos.

$$Fj = Fd + Fi \tag{20}$$

Frecuencia de daño total.

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 2, la frecuencia de daño debida a cada uno de los tipos de falla se calcula como se indica en la Tabla 3.

Tipo de falla	Frecuencia de daño (Fj)
1	F1 = H + A + B + C
2	F2 = A + D + B + C + E + G
3	F3 = A + B + C
4	F4 = A + D + B + C + E + G
5	F5 = A + B + C

Tabla 3. Frecuencia de daño para cada tipo de falla.

3.5. Cálculo del factor del número permitido de fallas (dj)

El número aceptable de fallas causadas por efectos del rayo debe calcularse para cada uno de los tipos de falla. Este factor depende de:

- Número de personas y tiempo de exposición al riesgo de falla
- Tipo e importancia del servicio público
- Valor de los bienes involucrados

Los factores δ_j para cada tipo de falla se calculan como se muestran en la Tabla 4.

Tipo de falla	δ_j
1	$\delta_1 = 1 - (1 - t / 8760)^n$
2	$\delta_2 = (n' * t') / (n_t * 8760)$
3	$\delta_3 = C_i / C_t$
4	$\delta_{4,5} = C_m / C_v$
5	

Tabla 4. Factor d (IEC 61662, 1995).

En la Tabla 4:

t: tiempo (horas) al año en la que personas transitan por el área susceptible a tensiones de paso y contacto

n: número de personas en riesgo

t': tiempo en horas al año en que el servicio es interrumpido

n': número de usuarios afectados por pérdida de servicio

n_t : número total de usuarios

C_i : valor de los bienes en peligro por causa de la falla

C_t : valor de todos los bienes de la edificación

C_m : valor de el mobiliario en riesgo por causa de la falla

C_v : Valor total del mobiliario de la edificación

3.6. Cálculo del riesgo

El riesgo para cada uno de los tipos de falla se calcula de acuerdo con la ecuación (3).

Una vez calculado el nivel de riesgo, este se compara con el valor de riesgo aceptable de falla

(R_a), el cual se muestra en la Tabla 5 (IEC, 1995).

Tipo de falla R_a	Tipo de pérdidas	
1	10^{-5}	Pérdidas anuales de vidas
2	10^{-3}	Pérdidas anuales de servicio
3	10^{-3}	Pérdidas anuales de patrimonio humano
4 y 5	Criterio del diseñador	Pérdidas que no implican algún elemento humano, cultural o social

Tabla 5. Riesgo aceptable de falla (IEC 61662, 1995).

Si el riesgo calculado es mayor que el de la Tabla 5 ($R_j > R_a$), debe implementarse un sistema de protección integral que reduzca el riesgo a un nivel seguro. Este sistema debe tener una eficiencia superior a la calculada con la ecuación (21). En la situación contraria, la edificación no requiere medidas adicionales de protección.

$$E = 1 - \frac{R_a}{R_j} \quad (21)$$

Este valor de la eficiencia del sistema debe aproximarse a los valores normalizados, los cuales se muestran en la Tabla 6 (IEC 61024-1-1, 2000: 25).

Nivel de protección	Eficiencia E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80
No requiere medidas de protección	<0,80

Tabla 6. Valores de eficiencia en función del nivel de protección (IEC 61024-1-1, 2000: 25).

La determinación del nivel de protección requerido para cada uno de los riesgos evaluados permite fijar los parámetros de diseño estipulados por las normas IEC 61024-1 “Protection of Structures against Lightning”, e IEC 61312 “Protection against Lightning Electromagnetic Impulse”.

4. Programa para la evaluación del riesgo – EVAL I

La metodología así descrita ha sido implementada en el desarrollo de una herramienta de software⁵. Ella no solamente arroja el valor del nivel de riesgo sino que además permite fijar los parámetros de diseño estipulados por las normas IEC 61024-1 e IEC 61312, ya citadas, los cuales son:

- Radio de la esfera rodante para la aplicación del método electrogeométrico
- Materiales y dimensiones para las terminales del SPE
- Distancia promedio entre bajantes del SPE
- Materiales y dimensiones para bajantes y electrodos de puesta a tierra
- Materiales y dimensiones para conductores de equipotencialización
- Distancia de seguridad entre el SPE y estructuras y conductores metálicos no aterrizados
- Magnitud de la corriente máxima de impacto directo de rayo en forma de onda 10/350 m para la selección de DPS

La ventana inicial para la ejecución del programa EVALI se muestra en la Figura 3; en ella se selecciona el tipo de riesgo de daño que quiere evaluarse

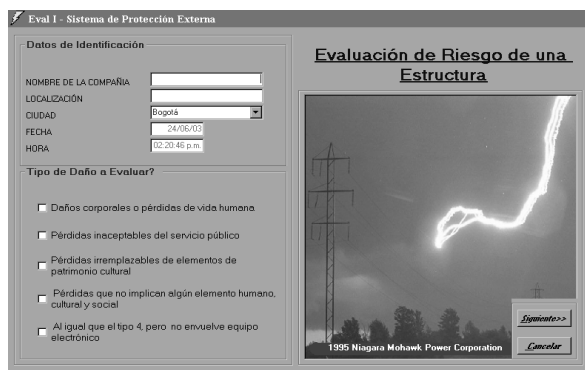


Figura 3. Ventana inicial de ejecución de EVAL I.

5. Ejemplo de aplicación

Haciendo uso del software EVAL I se evaluará el riesgo de lesión o de pérdida de vidas humanas de una estructura con las siguientes características:

- Dimensiones de la edificación: alto 18 m, ancho 60 m, largo 100 m. Aislada de otras edificaciones
- Estructura de concreto con acero reforzado
- 200 personas presentes normalmente, 1.600 horas al año
- Densidad de rayos a tierra 1 rayo por km² año
- Superficie en mármol en el perímetro de la edificación
- Acometida eléctrica subterránea en BT
- Acometida telefónica subterránea
- Existen pequeños extintores
- Los materiales al interior de la edificación son de tipo común

La información inicial es cargada al paquete de software a través de ventanas en las cuales el usuario selecciona diferentes variables como: tipo de riesgo a evaluar, dimensiones de la edificación, materiales constructivos de la estructura, medidas de protección existentes, número de personas y tiempo de permanencia de las mismas, etc.

Como resultado de la evaluación de riesgo, el programa entrega pautas para el diseño de un sistema integral de protección contra rayos, si este es requerido, o informa que el sistema no demanda protección alguna.

Algunas de las ventanas de ingreso de información y entrega de resultados se muestran en la Figuras 4 y 5 respectivamente

⁵ Trabajo de grado desarrollado en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por parte de los estudiantes Carlos Alberto Ospina Espejo, Franki Camargo Tamayo y Gabriel Araque Grosso. El paquete de software puede ser consultado en la página web del Proyecto Curricular de Tecnología en Electricidad de esta Facultad.

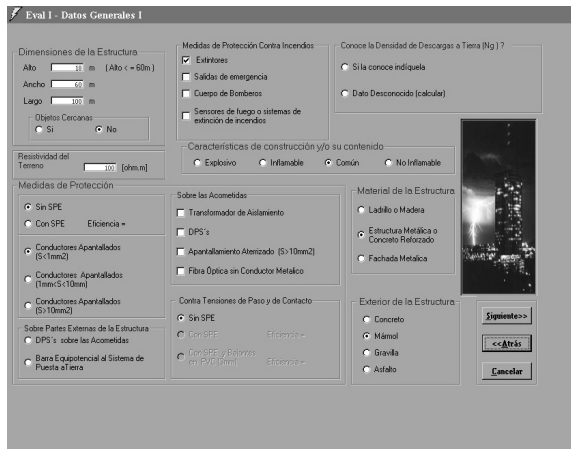


Figura 4. Ventana típica de ingreso de información.

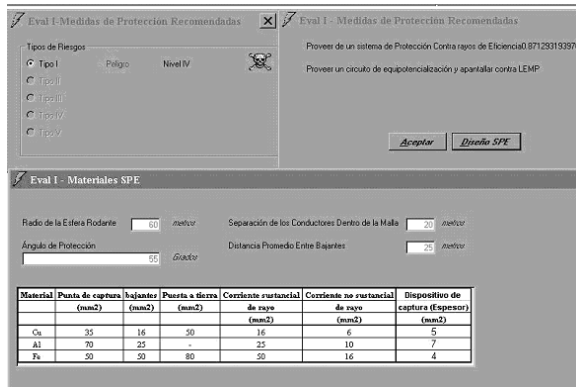


Figura 5. Ventana de resultados.

Para el ejemplo evaluado, algunos de los resultados obtenidos son los siguientes:

- Eficiencia del sistema requerido $E = 0,92$
- Nivel de protección requerido: IV
- Radio esfera rodante: 60 m
- Separación promedio entre bajantes: 20 m
- Corriente de rayo 100 kA 10/350 μ S

La socialización de este programa se realizará en el VII Simposio Internacional de Protección contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (SIPDA), a realizarse en la ciudad de Curitiba – Brasil en el mes de Noviembre de 2003.

6. Conclusiones

Una ventaja de la metodología expuesta es que permite evaluar sistemas de protección contra rayos existentes, calculando su eficiencia y permitiendo visualizar sus posibles fortalezas o debilidades y los peligros a los que se pueden ver expuestos los seres humanos que ocupan las edificaciones protegidas.

El éxito de un sistema integral de protección contra rayos depende de la calidad de la información que se tenga sobre la edificación a proteger, ya que la evaluación del riesgo se realiza mediante su utilización.

El Icontec en Colombia ha venido trabajando en la normalización del diseño de los sistemas de protección contra rayos, en razón de la importancia que esta representa para el sector asegurador e industrial del país. El presente trabajo se constituye en un aporte importante en este sentido.

El uso del paquete de software EVAL I simplifica el cálculo del nivel de riesgo de las edificaciones de uso común, debido a que integra todas las variables y procedimientos descritos en la norma internacional IEC 61662, además de dar pautas de diseño; se convierte de esta manera en una herramienta de trabajo fundamental para la implementación de Sistemas Integrales de Protección Contra Rayos.



ANEXO. CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES DE DAÑO

Tabla A1. Probabilidad de lesión por tensiones de paso o contacto (IEC ,1995).

Tipo de superficie fuera de la estructura	Factor p'h	Medidas de protección Kh
Humus, concreto	10 ⁻²	Sin SPE 1
Mármol	10 ⁻³	Con SPE 1 – E
Gravilla	10 ⁻⁴	Con SPETubería PVC 0.5 * (1 – E)
Asfalto	10 ⁻⁵	

$$Ph = p'h * Kh \quad (A1)$$

Tabla A2. Probabilidad de que una chispa produzca un incendio o una explosión (1995).

Característica de los materiales de la estructura	p't	Medidas de protección	Kt
Explosivo	1	Pequeños extintores	0.9
Inflamable	10 ⁻¹	Facilidad constructiva ⁶	0.7
Común	10 ⁻³	Alarmas ⁷	0.6
No inflamable	10 ⁻⁵	Bomberos	0.5

Tabla A3. Probabilidad de que una chispa peligrosa afecte una instalación metálica o las acometidas eléctricas internas de la estructura (IEC, 1995).

$$Pt = p't * Kt \quad (A2)$$

Tipo de estructura	p'1 = p'2	Medidas de protección	K1 = K2
Ladrillo, madera	1	Sin SPE	1
Estructura metálica o concreto reforzado	0.5	Con SPE	1 - E
Fachada metálica	0.05	Cable apantalladoS < 1mm ²	0.1
		Cable apantallado1mm ² < S < 10mm ²	0.01
		Cable apantalladoS > 10mm ²	0.001

Tabla A4. Probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las acometidas de distribución de la estructura o partes conductoras externas a la estructura (IEC, 1995).

$$P1 = p'1 * K1 \quad (A3)$$

$$P2 = p'2 * K2 \quad (A4)$$

Tipo de conductores externos	p'3 = p'4
Cables sin apantallar	0.8
Cables apantallados (apantallamiento < 5mm ²)	0.4
Cables apantallados (apantallamiento entre 5mm ² y 10 mm ²)	0.08
Cables apantallados (apantallamiento > 10mm ²)	0.02
Fibra óptica sin conductor metálico	0

Medidas de protección	K3
Transformador de aislamiento	0.1
DPS's en las acometidas	0.001
Apantallamiento puesto a tierra	0.001
Fibra óptica sin conductor metálico	0
Medidas de protección K4	
DPS's en las acometidas	0.001
Conexión de las estructuras al sistema de aterrizamiento	0

$$P3 = p'3 * K3 \quad (A5)$$

$$P4 = p'4 * K4 \quad (A6)$$

⁶ Muros resistentes al fuego y salidas de evacuación

⁷ Sensores de fuego y sistemas de extinción de incendios

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVENDAÑO, C. IBÁÑEZ, H Y ORTIZ, H (2002). “*Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión por efecto de los rayos*”. Mundo Eléctrico Colombiano, Vol. 16, No 47, 115-118. Bogotá, Colombia.
- FLISOWSKI, Z. Y MAZZETTI, C. (1999). “*Risk assessment method for the protection of electronic systems against lightning overvoltages*”, Proceedings V International Symposium on Lightning Protection, 525-541. Sao Paulo, Brasil.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (1995). Standard IEC 61662 “*Assessment of the risk of damage due to lightning*”. Ginebra, Suiza.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (1997). Standard IEC 61312 “*Protection against Lightning Electromagnetic Impulse*”. Ginebra, Suiza.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (2000). Standard IEC 61024-1-1 “*Protection of structures against Lightning. Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems*”. Ginebra, Suiza
- OSPINA, C. ARAQUE, G Y CAMARGO, F (2002). “*Diseño de software para la evaluación de riesgo contra descargas atmosféricas*”. Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.