



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.39

(10/96)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

**Evaluación del riesgo de daños en los
emplazamientos de telecomunicaciones debido
a las descargas del rayo**

Recomendación UIT-T K.39

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K DEL UIT-T
PROTECCIÓN CONTRA LAS INTERFERENCIAS

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

PREFACIO

El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT (Helsinki, 1 al 12 de marzo de 1993).

La Recomendación UIT-T K.39 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 5 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por la CMNT (Ginebra, 9-18 de octubre de 1996).

NOTAS

1. En esta Recomendación, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.
2. Los términos anexo y apéndice a las Recomendaciones de la serie K deberán interpretarse como sigue:
 - el *anexo* a una Recomendación forma parte integrante de la misma;
 - el *apéndice* a una Recomendación no forma parte integrante de la misma y tiene solamente por objeto proporcionar explicaciones o informaciones complementarias específicas a dicha Recomendación.

© UIT 1997

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción 1
2	Alcance..... 1
3	Lista de referencias 1
4	Definiciones 2
5	Consideraciones generales 2
6	Mecanismos de acoplamiento 2
6.1	Acoplamiento resistivo 2
6.2	Acoplamiento magnético 2
6.3	Acoplamiento eléctrico..... 3
6.4	Acoplamiento electromagnético 3
7	Principios para la evaluación del riesgo 3
7.1	Frecuencia de daños, F 3
7.2	Riesgo de daños, R 4
8	Cálculo de las áreas de riesgo 5
9	Cálculo de los factores de probabilidad p 6
10	Factor de daños indirectos δ 9
11	Niveles de riesgo aceptables, R_{accept} 9
Apéndice I – Ejemplo – Evaluación del riesgo de daños en un emplazamiento de telecomunicaciones con un mástil de antena adyacente..... 10	

SUMARIO

Esta Recomendación proporciona una ayuda a los ingenieros encargados de la protección para evaluar el riesgo de daños graves causados por el rayo. Comprende un análisis de riesgo que incluye el efecto de las descargas del rayo directas y cercanas así como las sobretensiones originadas por los servicios entrantes, principalmente las redes de energía eléctrica y de comunicación. En el análisis también se indican las medidas de protección suplementarias más eficaces para los emplazamientos cuya protección básica es insuficiente.

Parte de esta Recomendación trata del riesgo de lesiones a las personas que se encuentran en el emplazamiento durante las tormentas eléctricas.

La presente Recomendación se basa en un concepto del TC 81 de la CEI modificado para ser aplicable en casos prácticos en los sistemas de telecomunicaciones.

El ejemplo que figura en el Apéndice I se aplica a una instalación de telecomunicaciones con un mástil de antena adyacente.

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE DAÑOS EN LOS EMPLAZAMIENTOS DE TELECOMUNICACIONES DEBIDO A LAS DESCARGAS DEL RAYO

(Ginebra, 1996)

1 Introducción

Las medidas de protección adoptadas frente a los fenómenos de sobretensión que se producen de forma aleatoria como las descargas del rayo se han basado en gran medida en la experiencia. Los equipos modernos han demostrado ser más propensos a los daños que los equipos antiguos. Puede haber serias consecuencias en sistemas de comunicación complejos incluso en zonas urbanas, anteriormente clasificadas como no expuestas. El uso generalizado de estaciones de radio con altos mástiles de antena para las telecomunicaciones sin hilo ha aumentado significativamente el riesgo de daños debido a las descargas directas del rayo en los emplazamientos.

La necesidad de medidas de protección debe basarse en una evaluación del riesgo en la que se considere el coste y la importancia del sistema, el entorno electromagnético del emplazamiento y la probabilidad de daños. Los niveles de protección y el tipo de métodos de protección deben elegirse también de acuerdo con los costes de instalación y mantenimiento de los dispositivos de protección.

Una evaluación de la probabilidad de incidencia de sobretensiones y de la sensibilidad de la instalación de telecomunicaciones existente dará la posibilidad de lograr una protección equilibrada de todo el sistema.

Especialmente importantes son las medidas de protección para eliminar el riesgo de heridas graves durante las tormentas eléctricas en las instalaciones expuestas que están permanente o temporalmente dotadas de personal.

2 Alcance

Esta Recomendación incluye un método para la evaluación del riesgo de daños de los equipos en las instalaciones de telecomunicaciones y de la seguridad del personal en caso de sobretensiones y sobrecorrientes causadas por las descargas del rayo.

3 Lista de referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- [1] Informe técnico 1662 de la CEI:1995, *Assessment of the risk of damage due to lightning*.
- [2] Publicación 1024-1 de la CEI:1990, *Protection of structures against lightning, Part 1: General principles*.
- [3] Publicación 1024-1-1 de la CEI:1993, *Protection of structures against lightning, Part 1: General principles – Section 1: Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems*.
- [4] Publicación 1312-1 de la CEI:1995, *Protection against lightning electromagnetic impulse, Part 1: General principles*.
- [5] Recomendación UIT-T K.20 (1996), *Inmunidad del equipo de conmutación de telecomunicaciones contra las sobretensiones y sobrecorrientes*.
- [6] Recomendación UIT-T K.21 (1996), *Inmunidad de los terminales de abonado a las sobretensiones y sobrecorrientes*.
- [7] Recomendación UIT-T K.22 (1995), *Inmunidad a las sobretensiones de los equipos conectados a un bus T/S de RDSI*.
- [8] Recomendación UIT-T K.27 (1996), *Configuraciones de continuidad eléctrica y puesta a tierra dentro de los edificios de telecomunicación*.
- [9] Recomendación UIT-T K.40 (1996), *Protección contra los impulsos electromagnéticos ocasionados por el rayo en los centros de telecomunicaciones*.

4 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

4.1 dispositivo de protección contra descargas (SPD, surge protective device): Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y a desviar las sobrecorrientes. Contiene por lo menos un componente no lineal.

4.2 circuito de línea de abonado (SLIC, subscriber line circuit): Tarjeta de circuito impreso que contiene las funciones de línea de abonado y está colocada en una central en la interfaz con las líneas de telecomunicaciones externas.

5 Consideraciones generales

Los centros de telecomunicación y otros sistemas de información contienen gran cantidad de equipos electrónicos sensibles a las descargas del rayo. Las instalaciones no protegidas pueden verse dañadas por descargas entre las nubes y el suelo producidas a una distancia de varios kilómetros. Las interferencias se pueden producir incluso por descargas entre nubes.

El riesgo de daños depende de una serie de factores, entre los que cabe señalar los más importantes:

- el tipo de servicios entrantes, sobre todo los cables de telecomunicaciones y de suministro de energía;
- el tamaño y la forma del edificio que contiene el equipo y el efecto de blindaje del material del edificio;
- la disposición del sistema electrónico incluido el encaminamiento de los cables y la utilización de blindajes internos;
- las medidas de protección, integradas en la construcción del edificio, inherentes al equipo o en la interfaz entre los cables externos e internos.

Los daños físicos en los emplazamientos de telecomunicaciones están dominados por los daños del soporte físico de los equipos electrónicos por las sobretensiones y sobrecorrientes en las líneas entrantes. Las descargas directas del rayo en un edificio pueden causar daños importantes en el propio edificio, provocando incendios, explosiones u otros tipos de destrucción física. En dichos casos el equipo instalado sufre en general graves pérdidas.

Asimismo, partes del soporte lógico del sistema pueden ser destruidas o afectadas parcialmente; por ejemplo, pueden borrarse memorias y producirse falsas señales de alarma o inhibirse otras.

Sin embargo, el efecto más grave que resulta de una tormenta eléctrica es a menudo la interrupción del servicio de comunicación que acarrea altos costes tanto al abonado como al operador de telecomunicaciones.

6 Mecanismos de acoplamiento

Los fenómenos transitorios originados por el rayo afectarán al centro de telecomunicaciones o a otros sistemas similares según los siguientes mecanismos de acoplamiento.

6.1 Acoplamiento resistivo

Una descarga del rayo en un objeto crea un aumento de potencial que puede alcanzar varios cientos de kV en el lugar del impacto con respecto a la tierra distante. En un centro de telecomunicaciones la elevación del potencial generará corrientes que se distribuyen entre los servicios que utilizan conductores metálicos como los cables de telecomunicaciones o de suministro de energía conectados al punto de referencia del sistema. Las corrientes en los blindajes del cable causan sobretensiones entre el blindaje y el núcleo del cable proporcionales a la impedancia de transferencia.

6.2 Acoplamiento magnético

Las corrientes ocasionadas por el rayo en un conductor o en el canal de descarga del rayo crean campos magnéticos, que, para una distancia de hasta varios cientos de metros, puede suponerse que tienen la misma variación temporal que la corriente. Sin embargo, el campo magnético se ve a menudo interrumpido o atenuado por los materiales del edificio o por objetos situados en las proximidades y por lo tanto en algunos casos puede ser necesario un análisis más preciso.

Las variaciones del campo magnético inducen tensiones y corrientes en el cableado interno y en la planta exterior de cable.

En el documento 1024-1-1 de la CEI, Guide A – Selection of protection levels for lightning protection systems, se ofrece la distribución de los parámetros de la corriente ocasionada por el rayo.

6.3 Acoplamiento eléctrico

Adyacente a la carga en la parte más baja del canal de descarga del rayo se origina un campo eléctrico muy alto que puede tener efectos sobre los equipos de antena de varilla. Normalmente en el interior de un edificio puede despreciarse la interferencia producida por el campo.

6.4 Acoplamiento electromagnético

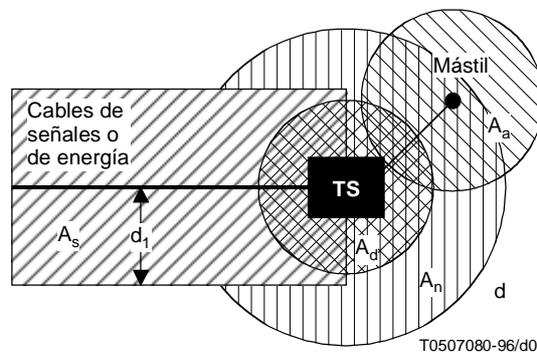
A grandes distancias, los campos magnéticos producidos por las descargas del rayo provocan sobretensiones substanciales en una red de telecomunicaciones extendida. Esta interferencia conducida aparece en la interfaz del equipo. Los campos radiados directamente difícilmente dañarán cualquier equipo de telecomunicaciones dentro de un edificio o cabina.

7 Principios para la evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo de daños en los centros de telecomunicaciones debe realizarse en dos etapas: primero, una evaluación básica de la necesidad de proteger el objeto contra las descargas; segundo, la elección de métodos de protección y de la energía de disrupción de los componentes de protección, SDP, en los servicios de telecomunicaciones o de suministro de energía eléctrica.

7.1 Frecuencia de daños, F

Deben definirse zonas de riesgo para los mecanismos de acoplamiento descritos anteriormente. Se supone que las descargas del rayo en estas zonas dañan el propio edificio de telecomunicaciones, TS, o por lo menos los equipos electrónicos instalados en el interior; véase la Figura 1.



- A_d Área de riesgo equivalente para descargas directas en el edificio.
- A_n Área de riesgo para descargas en el suelo cerca del edificio que afectan al centro de telecomunicaciones por acoplamiento resistivo e inductivo.
- A_s Área de riesgo para los servicios entrantes (cables de suministro de energía, de telecomunicaciones, etc.).
- A_a Área de riesgo para descargas directas en objetos adyacentes, por ejemplo mástiles de antena, con conexión metálica al centro de telecomunicaciones.

Figura 1/K.39 – Zonas de riesgo con relación a las descargas del rayo

Cabe resaltar que las diferentes zonas de riesgo pueden superponerse, lo cual debe tenerse en cuenta al calcular el área de riesgo total.

Las estructuras más altas blindarán, en cierta medida, los edificios más bajos o las áreas cercanas contra las descargas directas del rayo. Las descargas directas provocarán normalmente daños más graves que las descargas indirectas.

Asimismo, se supone que la zona de riesgo A_s , para los cables entrantes, tiene una prioridad mayor que la zona A_n , para descargas en el suelo cerca del emplazamiento que ha de protegerse.

La suma de las áreas representa el total del área de riesgo del emplazamiento y corresponde al número medio de daños por año, F , con una intensidad normalizada N_g de 1 descarga en el suelo por km^2 y por año. Se supone que la inmunidad del equipo de telecomunicaciones contra los fenómenos transitorios ocasionados por el rayo es conforme a las Recomendaciones K.20, K.21 y K.22 y que la del equipo de suministro de energía es conforme a otras normas internacionales. Los requisitos comprenderán los valores de los parámetros de los fenómenos transitorios que tienen que ver con la tensión máxima, la corriente, la carga, la pendiente, la energía específica, etc.

Las áreas de riesgo se calculan sobre la base de que la instalación de comunicación no cuenta con ninguna medida de protección particular ni con la que puede considerarse como protección natural de la construcción del edificio o de la planta exterior de cable. En la realidad existen siempre algunas características de la instalación que reducen la penetración de los campos y las corrientes. Por lo tanto, la probabilidad de que se produzca un daño es sensiblemente menor que en el caso teórico. Las influencias de las medidas de protección inherentes y adicionales se tienen en cuenta en la cláusula 9 – «Cálculo de los factores de probabilidad p ».

Con respecto a la densidad local de descargas del rayo, el número anual de daños probables, F , se expresa mediante la fórmula:

$$F \approx N_g(A_d p_d + A_n p_n + A_s p_s + A_a p_a)$$

donde los diferentes valores de p dependen de las medidas de protección existentes o planificadas, las cuales disminuyen la probabilidad de daños.

$$F \approx F_d + F_n + F_s + F_a$$

Los cuatro términos representan los daños causados, respectivamente, por las descargas directas en el emplazamiento (d), las descargas cercanas en el suelo (n), las descargas en o en las proximidades de los cables entrantes (s) y las descargas directas en objetos adyacentes como por ejemplo las torres de las antenas, con conexión metálica al emplazamiento de telecomunicaciones (a). En la mayoría de los casos predominará el tercer término, pero para los edificios grandes o en los edificios con altas torres de antena la influencia de los otros términos puede ser importante.

Resulta ventajoso mantener los términos separados durante los cálculos a fin de poder identificar la razón principal de las averías y aplicar los métodos de protección más eficaces.

A menudo se puede obtener información sobre la densidad de descargas del rayo a partir de los mapas cerámicos detallados. De no ser así, puede utilizarse la siguiente fórmula aproximativa:

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} \text{ por } \text{km}^2 \text{ y año,}$$

donde T_d es el promedio de días de tormenta eléctrica registrados por año.

7.2 Riesgo de daños, R

El riesgo R de que el emplazamiento de telecomunicaciones sufra graves daños se puede estimar mediante la expresión:

$$R = (1 - e^{-F \cdot t}) \cdot \delta$$

que en muchos casos puede simplificarse por:

$$R = F \cdot \delta = \sum F_i \cdot \delta_i$$

para $t = 1$ año y $F \ll 1$.

El factor δ se determina con respecto a los daños indirectos probables en relación con el valor total del equipo y los efectos de una pérdida total del servicio.

8 Cálculo de las áreas de riesgo

Un programa informático para analizar el riesgo de daños permitiría aplicar métodos de cálculo más complicados. Sin embargo, tratándose de estimaciones manuales, los cálculos deben simplificarse a fin de que resulten útiles para las aplicaciones prácticas.

El área de riesgo equivalente para descargas directas del rayo en una estructura A_d se define como un área plana con la misma frecuencia de descarga del rayo que la estructura en cuestión. En un caso simple, se aísla el edificio de las otras estructuras altas y se coloca en un suelo plano.

A_d es entonces un área bordeada por línea de pendiente 1:3, dibujada desde las partes más altas del edificio, como se muestra en la Figura 2, donde

$$A_d = ab + 2(3ha) + 2(3hb) + \pi(3h)^2$$

Esta relación es válida para las estructuras de hasta por lo menos 60 m de altura.

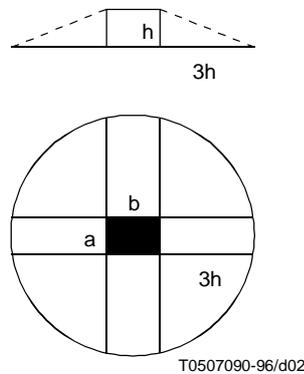


Figura 2/K.39 – Área de riesgo A_d para descargas directas del rayo en una estructura

A_n es el área de riesgo para el suelo circundante, donde la descarga eléctrica produce un aumento de potencial que puede influir en el centro de telecomunicaciones. A_n está formada por una línea situada a una distancia d del edificio menos el área de riesgo para impactos directos, A_d . Cuando hay objetos adyacentes como estructuras altas o cables entrantes, el área A_n se reduce aún más (véase la Figura 1).

La distancia d , en m, está relacionada directamente con el valor de la resistividad del suelo, en Ω m, y tiene por hipótesis un valor máximo de 500 m.

Las descargas pueden también inducir transitorios directamente en el interior de la instalación del edificio. Sin embargo, el acoplamiento inductivo de las descargas eléctricas en el área A_n puede normalmente despreciarse debido a la distancia y al tamaño limitado de los bucles de los hilos dentro del edificio generalmente pequeño. El efecto de inducción, causado por las descargas en el interior de A_n , influirá principalmente en las instalaciones de los edificios bajos de gran superficie, y no en distancias superiores a 50 m del punto de impacto.

Asimismo, puede ignorarse a menudo la influencia del acoplamiento resistivo, dado que una parte significativa del área de riesgo A_n está cubierta por el área A_s para las líneas entrantes.

A_s es un área en la que las descargas del rayo generan fenómenos transitorios importantes en redes de cables extensas conectadas a la instalación de telecomunicaciones objeto de interés. Para los cables aéreos la longitud total y la altura son parámetros importantes. Aunque los cables de comunicación y de energía enterrados ofrecen un riesgo más bajo que las líneas aéreas, las descargas directas en sus proximidades pueden producir sobretensiones importantes, especialmente en los suelos de alta resistividad.

La distancia máxima d_1 del cable a la que se contemplan las descargas está influida por la resistividad del suelo; en principio, también para el caso de los cables aéreos. Se puede suponer que, si se dispone de los valores de resistividad del suelo a todo lo largo del cable, la distancia d_1 para el área de riesgo de los cables subterráneos tiene la misma relación con la resistividad que en el caso de A_n , pero aquí, por razones de simplificación, se reemplaza por valores fijos.

$A_s = 2d_1 \cdot L$, donde L es la longitud del cable.

Se supone que d_1 es igual a 250 m en el caso de los cables subterráneos y a 1000 m en el caso de las redes aéreas.

Puede suponerse que las áreas de riesgo de descargas directas en la red son $A_{sd} = 6 hL$ en el caso de los cables aéreos, donde h es la altura de la línea por encima del suelo, y $A_{sd} = 2L \sqrt{\rho}$ en el caso de los cables subterráneos, siendo ρ la resistividad del suelo.

Cuando las redes de cables de telecomunicación o de alimentación de baja tensión están formadas por partes subterráneas y aéreas, el área efectiva de riesgo puede reemplazarse por $A_s = \sum L_i d_i$, siendo L_i la longitud de cada sección de línea y d_i la distancia de captación correspondiente.

En algunos casos puede no disponerse de información detallada sobre los tipos de cables o la red puede estar formada por una mezcla compleja de tipos de cables (blindados/no blindados, aéreos/subterráneos). Las fórmulas, basadas en las mediciones resumidas en el capítulo 10 del manual de protección contra el rayo de la UIT, pueden utilizarse para calcular el número anual de daños probables por cable de telecomunicaciones entrante en una instalación no protegida. Debe suponerse que el equipo resiste por lo menos $V_p = 1$ kV o 1,5 kV de conformidad con las Recomendaciones K.20 y K.21 respectivamente.

A_a es el área que representa las descargas directas en un objeto adyacente y se calcula como A_d .

Una descarga en un mástil de antena de telecomunicaciones adyacente puede introducir una parte importante o incluso la mayor parte de la corriente al interior de la instalación de telecomunicaciones a través de los cables de la antena. Esta corriente y la corriente del mástil cercano crearán campos magnéticos derivados de alta intensidad dentro de un edificio sin blindaje.

9 Cálculo de los factores de probabilidad p

Cada factor p puede dividirse en un factor que representa las características de protección naturales de la instalación (material del edificio, red aérea o subterránea) y en otro que depende de las medidas de protección específicas introducidas en la interfaz del edificio o de la cabina y las instaladas en la red interna o externa (dispositivos de protección contra las descargas, blindaje de los cables, técnicas de aislamiento).

El usuario de esta Recomendación debe ser consciente de que muchos de los valores de los factores de probabilidad indicados a continuación en los cuadros son sólo estimaciones aproximadas, mientras que otros están basados en cálculos o en experiencias sobre el terreno más largas. La exactitud del método de valoración de riesgo depende en gran medida de los datos recopilados para calcular estos factores.

En muchos casos, cuando se han adoptado varias medidas, el factor de probabilidad efectivo puede venir dado por el producto de los valores particulares:

$$p_{eff} = \prod p_i, (p_i \leq 1)$$

por ejemplo, cuando un cable entrante dispone de blindajes metálicos y de dispositivos de protección contra las descargas.

La probabilidad de lesiones en las personas se reduce con medidas que minimizan la corriente a través del cuerpo humano. Ello se consigue con buenas medidas de conexión equipotencial en las zonas de riesgo y limitando la conductividad de la superficie del suelo o del piso. La utilización de aislamientos de alta tensión de ruptura en las partes de la instalación que transportan la corriente del rayo puede servir para el mismo propósito.

En los Cuadros 1 a 4 se dan ejemplos de valores de los factores de probabilidad.

Los Cuadros 1 y 2 representan el efecto de las medidas de protección inherentes y específicamente proporcionadas para mitigar el acoplamiento resistivo e inductivo debido a las descargas del rayo en el edificio de telecomunicaciones, en el mástil de una antena adyacente o en los alrededores del emplazamiento.

La probabilidad efectiva es en estos casos el producto de los factores p pertinentes de los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1/K.39 – Valores de p para diferentes materiales del edificio

Materiales del edificio	P_d P_a P_n
No apantallantes (madera, ladrillos, hormigón sin refuerzo de acero)	1
Hormigón con refuerzo de acero y tamaño de malla estándar	0,1
Contenedor metálico	0,01

Cuadro 2a/K.39 – Valores de p para medidas de protección específicas sobre el edificio

Medidas de protección externas específicas del edificio	P_d P_{inj}
Sin protección externa o interna contra el rayo	1
Protección externa contra el rayo de conformidad con la Publicación 1024-1 de la CEI y las directrices de aplicación	0,1

Cuadro 2b/K.39 – Valores de p para medidas de protección específicas dentro del edificio

Medidas de protección separadas dentro del edificio	P_d P_a P_n P_{inj}
Medidas de EMC internas de conformidad con la Recomendación K.27	0,5
Aplicación de las técnicas de instalación internas de CEI 1312-1	0,1

El Cuadro 3 representa los efectos de protección de las medidas adoptadas en los servicios entrantes o salientes de telecomunicaciones y de suministro de energía, en el exterior del edificio y en la interfaz del mismo.

El efecto protector de los cables subterráneos ya está incluido en el cálculo del área de riesgo A_s .

Al multiplicar los factores p del Cuadro 3 para diferentes tipos de medidas de protección se obtendrá la reducción efectiva del riesgo de daños, por ejemplo $p_{shielding} \times p_{SPD}$.

Basándose en la experiencia sobre el terreno, se admite que la colocación de SPD a la entrada de un emplazamiento de telecomunicaciones reducirá el número de daños ocasionados por el rayo a los equipos en por lo menos el 90%.

Para alcanzar un mayor grado de eficacia se necesita una técnica de instalación particular, especialmente allí donde hay campos magnéticos intensos de alta frecuencia, por ejemplo debido a las descargas directas en los mástiles de comunicación. Los blindajes de los cables y los SPD exigen un buen rendimiento de la conexión equipotencial.

También debe asegurarse la coordinación entre los niveles de protección de los SPD y la inmunidad de los equipos.

El uso de cable óptico sin partes metálicas eliminará el riesgo de daños en los equipos de telecomunicaciones.

Cuadro 3/K.39 – Valores de p para las medidas de protección de los cables entrantes

Medidas de protección contra los transitorios de conducción del rayo	P _s P _n
Cables externos no blindados sin SPD	1
Cables de comunicación externos blindados con una impedancia de transferencia máxima de 20 Ω/km (f < 1 MHz)	0,5
Cables de comunicación externos blindados con una impedancia de transferencia máxima de 5 Ω/km (f < 1 MHz)	0,1
Cables de comunicación externos blindados con una impedancia de transferencia máxima de 1 Ω/km (f < 1 MHz)	0,01
Transformadores de aislamiento en la interfaz de la red de baja tensión (tensión de ruptura > 20 kV)	0,1
SPD normalizados en las entradas de los cables y técnicas de instalación normales	0,1
SPD seleccionados, buena coordinación con la inmunidad del equipo, técnicas de instalación cualificadas	0,01
Cables ópticos sin partes metálicas	0

Cabe destacar que todos los blindajes serán continuos a lo largo de la ruta del cable y estarán conectados correctamente al plano de referencia del emplazamiento. Se pondrá un cuidado especial en la conexión de los blindajes y las guíasondas del cable de la antena con la referencia del plano o el blindaje del edificio.

Las medidas de protección de conformidad con los Cuadros 2a y 2b contribuirán a reducir el riesgo de lesiones graves en las personas presentes dentro o cerca del edificio de telecomunicaciones durante una tormenta eléctrica.

Sin embargo, en casos de descarga directa en la estructura pueden producirse grandes diferencias de potencial entre los elementos conductores.

El riesgo de lesiones debidas a las tensiones en escalón y por contacto puede reducirse aún más si se utilizan superficies de baja conductividad y alta tensión de ruptura. Estas medidas tienen por objeto evitar que pasen corrientes peligrosas a través del cuerpo humano o limitar dichas corrientes. Esto se logra con procedimientos de trabajo apropiados así como con medidas de conexión equipotencial en la zona de trabajo.

El Cuadro 4 ofrece una estimación de los factores de probabilidad para diferentes materiales.

Cuadro 4/K.39 – Valores de p para diferentes capas de superficie con el objeto de mitigar las tensiones en escalón y por contacto

Tipo de superficie del suelo o de las partes conductoras que transportan corrientes ocasionadas por el rayo	P _{inj}
Hormigón mojado, humus	10 ⁻²
Hormigón seco	10 ⁻³
Asfalto, madera	10 ⁻⁵
Capa de aislamiento con material de alta tensión de ruptura (revestimiento plástico de los cables, etc.)	10 ⁻⁶

Para obtener el factor p efectivo contra las lesiones, los valores del Cuadro 4 se multiplicarán por los valores pertinentes de los Cuadros 2a y 2b.

10 Factor de daños indirectos δ

El factor de ponderación δ representa los efectos indirectos de un daño debido a la descarga de un rayo directamente o en las cercanías del centro de telecomunicaciones o en sus líneas entrantes. Este factor representa la relación entre los daños anuales estimados en un emplazamiento desprotegido y el valor total del objeto que ha de protegerse.

El factor de ponderación δ puede adoptar valores diferentes, según el tipo de daño.

Lesiones en las personas

La seguridad del personal es un tema clave para los diseñadores e instaladores de dispositivos de protección. Los riesgos para la seguridad de las personas pueden deberse a la ruptura dieléctrica o a las descargas del rayo durante la instalación y el mantenimiento de equipos conectados a las líneas.

δ debe tener el valor 1 en caso de riesgo de lesiones graves en las personas.

Pérdida de servicio

Por lo general resulta difícil calcular la pérdida probable de servicios a los usuarios debido a una descarga del rayo. A modo de ejemplo, se supone que un centro de telecomunicaciones estará funcionando siempre a pleno rendimiento 24 horas después de un daño. Cuando se produce un caso grave, el centro puede dejar de funcionar durante este periodo de tiempo o incluso durante más tiempo, por ejemplo, debido a una descarga directa en un mástil de antena conectado en las cercanías.

Con esta hipótesis, $\delta = 24/8760 = 2,74 \times 10^{-3}$ por daño (hay 8760 horas en un año). Sin embargo, en la mayoría de los casos las pérdidas de servicio se limitan a una parte de la red y las consecuencias del daño se reducen de acuerdo con n_x/n_{tot} , donde n_x es el número de usuarios afectados por el daño y n_{tot} es el número total de usuarios conectados a la central o al emplazamiento distante.

Daños físicos

Pocas veces son totales los daños del soporte físico en un centro de telecomunicaciones, incluso cuando no está protegido. Por lo general, los daños se limitan a las partes cercanas a la interfaz con la red externa, por ejemplo los circuitos SLIC en el lado de la señal o los rectificadores en el lado del suministro de energía. Para los daños del soporte físico un valor de $\delta = 0,20$ puede ser representativo. Se puede elegir un valor más alto para las descargas directas en la red de cables.

Las descargas directas en el edificio de telecomunicaciones o en los objetos adyacentes, en especial los mástiles de las antenas, causarán daños más graves que las descargas en las líneas entrantes.

Un factor δ tan alto como 0,8 es bastante realista para un emplazamiento que no cuenta con protección.

11 Niveles de riesgo aceptables, R_{accept}

El propósito de las medidas de protección es reducir el número de daños y limitar los efectos resultantes de un daño a un nivel tolerable. Cuando sólo hay que considerar daños económicos, es el operador de telecomunicaciones quien decide el nivel de riesgo aceptable.

Un factor determinante cuando se establece el nivel de riesgo aceptable, son las consecuencias de una degradación o pérdida de servicios para los abonados. Incluirá los costos directos por la indisponibilidad del equipo, los ordenadores y otros dispositivos relacionados con la tecnología de la información. La interrupción de un servicio puede también afectar la productividad y los ingresos de los negocios. Los servicios de emergencia pueden tener elevados costos indirectos asociados al no funcionamiento y por ello debe prestarse mucha atención a ellos.

La decisión de un nivel de riesgo apropiado debe basarse también en los costes de las medidas de protección en comparación con los daños físicos probables, todo ello sobre una base anual.

El nivel de riesgo aceptable relativo a las lesiones en las personas debe ser evaluado por las autoridades de prevención de accidentes (por ejemplo organismos internacionales o nacionales).

Los operadores de la red de telecomunicaciones deben decidir los niveles de riesgo aceptables, R_{accept} , con excepción del riesgo de lesiones. El Cuadro 5 da algunos valores representativos de los daños del soporte físico y las pérdidas de servicio.

Cuadro 5/K.39 – Valores representativos de R_{accept}

Tipo de daño	R_{accept}
Físico	10^{-3}
Pérdida de servicio	10^{-4}

Apéndice I

Ejemplo – Evaluación del riesgo de daños en un emplazamiento de telecomunicaciones con un mástil de antena adyacente

Datos básicos

Edificio, tamaño y material:	5 × 3 × 3 m, hormigón armado.
Torre de antena, altura h y distancia del edificio:	80 m, situada a 4 m del edificio de telecomunicaciones.
Longitud total del cable y blindaje:	Cable de alimentación de 600 m, no blindado, subterráneo. Cables de telecomunicaciones de 1000 m, no blindados, aéreos.
Resistividad del suelo:	Alta, estimada en por lo menos 500 Ω m en la zona considerada.
Densidad de la descarga del rayo:	No se dispone de mediciones. 24 días de tormenta/año de acuerdo con el mapa cerámico.

Véase la Figura I.1.

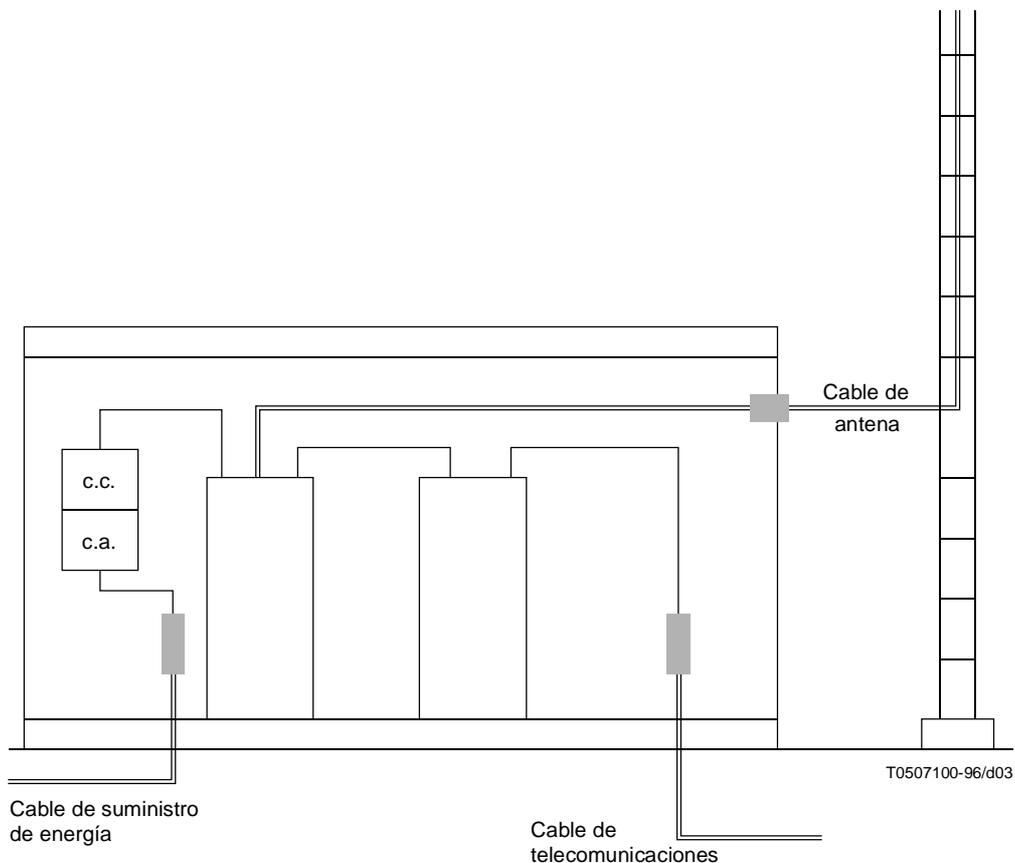


Figura I.1/K.39 – Ejemplo de edificio de telecomunicaciones blindado correctamente con cables entrantes

Cálculo de áreas de riesgo, A

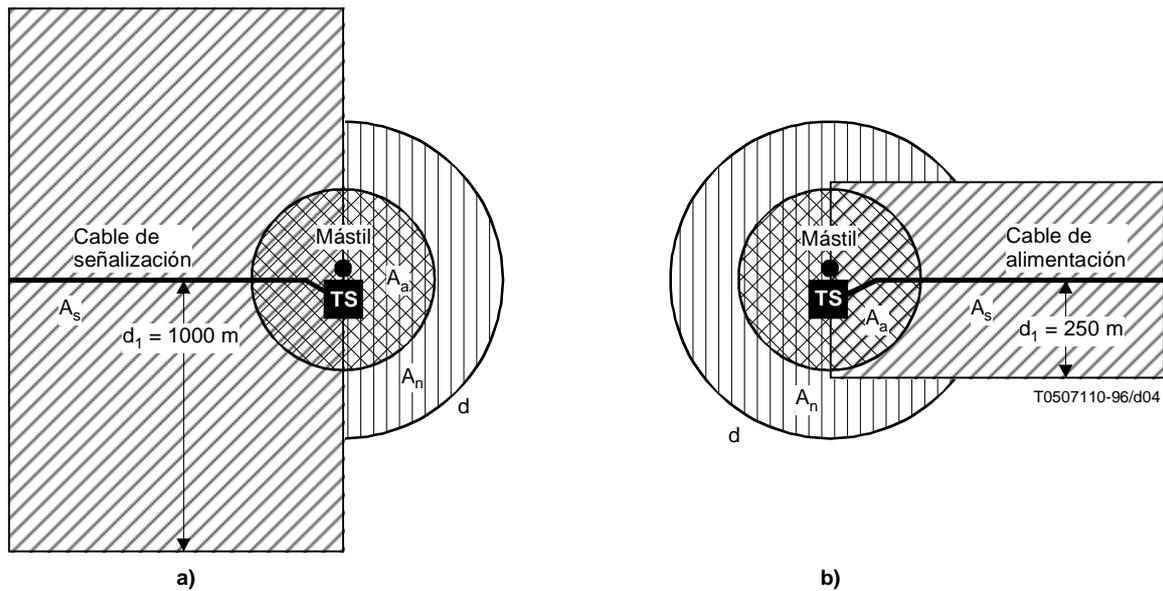


Figura I.2/K.39 – Zonas de riesgo para los casos de telecomunicaciones y de suministro de energía

De acuerdo con la Figura I.2 a) y b), las áreas de riesgo tendrán los valores siguientes:

$A_d \approx 0$ (cubierta por A_a)

$$A_a = \pi(3h)^2 = \pi(3 \times 80)^2 = 180\,956 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ km}^2$$

$$A_s = 2 \times d_{\text{tele}} \times L_{\text{tele}} - A_a/2 = 2 \times 1000 \times 1000 - 90\,000 = 1,91 \times 10^6 \text{ m}^2 = 1,9 \text{ km}^2 \text{ para el cable de telecomunicaciones}$$

$$A_s = 2 \times d_{\text{power}} \times L_{\text{power}} - A_a/2 = 2 \times 250 \times 600 - 90\,000 = 0,21 \times 10^6 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ km}^2 \text{ para el cable de energía}$$

El área de riesgo nominal para descargas cercanas, A_n , se reduce por el área que ya está cubierta por A_a y por A_s para los cables aéreos de telecomunicaciones y los cables subterráneos de suministro de energía, respectivamente.

$$\text{Para el caso del cable de telecomunicaciones: } A_{n(\text{tele})} = \pi d^2/2 - A_a/2 = 0,3 \text{ km}^2$$

$$\text{Para el caso del cable de suministro de energía: } A_{n(\text{power})} = \pi d^2/2 - A_a/2 + (\pi d^2/3 - \sqrt{3} d^2/4) = 0,5 \text{ km}^2$$

donde los términos entre paréntesis representan el área de un segmento de círculo cuando $d = 2d_1$.

Cálculo del número de daños previstos, F

La densidad del relámpago N_g se calcula mediante la fórmula $N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} = 2,1 \text{ km}^2$ y por año para $T_d = 24$.

El número de daños, F, depende de N_g , (A_d) , A_a , A_n , A_s y los diferentes factores de probabilidad, p, seleccionados de los Cuadros 1 a 4.

Cuando no hay otras medidas de protección, además de las que constituyen el blindaje de la construcción del edificio y la conexión equipotencial del blindaje de los cables de antena entrantes, el número de daños es:

$$F = N_g((A_{n(\text{tele})} + A_{n(\text{power})})p_n + (A_{s(\text{tele})} + A_{s(\text{power})})p_s + A_a p_a) = 2,1((0,3 + 0,5) \times 0,1 + (1,9 + 0,2) \times 1 + 0,2 \times 0,01) = 2,1(0,08 + 2,1 + 0,002) = 4,6 \text{ por año.}$$

El hormigón armado del edificio reduce F_n en un factor $p_n = 0,1$ y F_a se reduce en un factor $p_a = 0,01$ debido a la baja impedancia de transferencia de los cables de antena, cuyos blindajes se suponen correctamente conectados al refuerzo.

Indudablemente, no se puede tolerar una media de un daño más de cuatro veces al año.

Resulta obviamente más eficaz instalar medidas de protección adicionales en las líneas entrantes.

Al haber dispositivos de protección contra las descargas en todas las líneas de telecomunicaciones y de alimentación de baja tensión, se reducirá el número de daños, F_n y F_s , en un factor $p = 0,01$ si se utilizan métodos de instalación apropiados.

Con estas medidas el número de daños probable será:

$$F = 2,1(0,08 \times 10^{-2} + 2,1 \times 10^{-2} + 0,2 \times 10^{-2}) = 5,0 \times 10^{-2} \text{ daños anuales,}$$

lo que corresponde a un promedio de 1 daño cada 20 años.

Cálculo de los niveles de riesgo, R

El riesgo de daños y pérdida de servicio se reduce de acuerdo con el valor del factor de ponderación δ .

Se supone que el factor de ponderación para los daños físicos en los equipos es $\delta = 0,20$ excepto para las descargas directas, donde $\delta = 0,8$. El riesgo de daños en el soporte físico es entonces:

$$R_{\text{damage}} = (F_n + F_s)\delta_{\text{dam1}} + F_a \cdot \delta_{\text{dam2}} = 2,1((0,08 \times 10^{-2} + 2,1 \times 10^{-2}) \times 0,2 + 0,2 \times 10^{-2} \times 0,8) = 0,92 \times 10^{-2} + 0,16 \times 10^{-2} = 1,1 \times 10^{-2}$$

El riesgo de pérdida de servicio se calcula de forma similar suponiendo que la interrupción del servicio es, por ejemplo, de 24 horas y $\delta = 24/8760 = 2,74 \times 10^{-3}$ (todas las líneas afectadas).

$$R_{\text{loss}} = \sum F \cdot \delta = 5,0 \times 10^{-2} \times 2,74 \times 10^{-3} = 1,4 \times 10^{-4}$$

El riesgo de lesiones graves en las personas, que se encuentran dentro o en las cercanías del emplazamiento, puede reducirse aún más si se adoptan medidas de conexión equipotencial y aislamiento. Con una red de puesta a tierra externa en malla conforme a CEI 1312-1 ($p = 0,1$) y con la superficie de la zona de trabajo cubierta de asfalto, madera o un material equivalente, ($p = 10^{-5}$), el riesgo es (suponiendo que $\delta_{\text{injury}} = 1$).

$$R_{\text{injury}} = \sum F \cdot \delta = 5,0 \times 10^{-2} \times 0,1 \times 10^{-5} \times 1 = 5,0 \times 10^{-8}$$

De ser necesario, se pueden aplicar medidas adicionales para reducir aún más el riesgo de daños físicos, de pérdida de servicio o de lesiones en las personas.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

- Serie A Organización del trabajo del UIT-T
- Serie B Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
- Serie C Estadísticas generales de telecomunicaciones
- Serie D Principios generales de tarificación
- Serie E Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
- Serie F Servicios de telecomunicación no telefónicos
- Serie G Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
- Serie H Sistemas audiovisuales y multimedios
- Serie I Red digital de servicios integrados
- Serie J Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
- Serie K Protección contra las interferencias**
- Serie L Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
- Serie M Mantenimiento: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
- Serie N Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
- Serie O Especificaciones de los aparatos de medida
- Serie P Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
- Serie Q Conmutación y señalización
- Serie R Transmisión telegráfica
- Serie S Equipos terminales para servicios de telegrafía
- Serie T Terminales para servicios de telemática
- Serie U Conmutación telegráfica
- Serie V Comunicación de datos por la red telefónica
- Serie X Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
- Serie Z Lenguajes de programación