



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**K.47**

(12/2000)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS  
INTERFERENCIAS

---

**Protección de las líneas de telecomunicación  
que utilizan conductores metálicos contra las  
descargas directas de rayos**

Recomendación UIT-T K.47

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

---



## **Recomendación UIT-T K.47**

### **Protección de las líneas de telecomunicación que utilizan conductores metálicos contra las descargas directas de rayos**

#### **Resumen**

En esta Recomendación se indica un procedimiento para la protección de las líneas de telecomunicación que utilizan conductores metálicos contra las descargas directas de rayos en la propia línea o en estructuras en las que entra la línea. El procedimiento de protección está relacionado con la exposición de la línea a las descargas directas de rayos e incluye la selección de las características/instalación de cable, la puesta a masa/tierra del blindaje del cable, el uso de hilos de blindaje, la instalación de dispositivos de protección contra sobrecargas y la redundancia de rutas.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T K.47, preparada por la Comisión de Estudio 5 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 8 de diciembre de 2000.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la 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 Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), 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 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

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.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2002

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

### Página

1	Alcance .....	1
2	Referencias.....	1
3	Definiciones .....	2
4	Configuración de referencia.....	2
5	Riesgo de daños esperado .....	3
5.1	Consideraciones generales .....	3
5.2	Frecuencia de daños en los cables .....	4
5.3	Frecuencia de los daños en las estructuras en las que entran los cables .....	4
5.4	Parámetros para la evaluación de la frecuencia de los daños .....	4
5.4.1	Densidad de descargas de rayos a tierra ( $N_g$ ) .....	4
5.4.2	Factor de probabilidad de corriente ( $p(i)$ ).....	5
5.4.3	Factor de entorno ( $K_e$ ) .....	5
5.4.4	Distancia de descarga ( $D$ ).....	5
5.4.5	Factor de corrección por daños ( $K_d$ ).....	6
6	Determinación de la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ).....	6
6.1	Descargas de rayos en cables.....	6
6.2	Descargas de rayos en las estructuras en las que entran los cables .....	6
7	Procedimientos de protección.....	6
7.1	Selección del entorno .....	7
7.2	Elección del cable .....	7
7.2.1	Cable de fibra óptica dieléctrico .....	7
7.2.2	Cable con elevada corriente de ruptura por la cubierta .....	8
7.2.3	Cable con elevada tensión de ruptura de la cubierta .....	8
7.3	Instalación enterrada o aérea.....	8
7.4	Utilización de dispositivos de protección contra sobrecargas (SPD) .....	8
7.5	Blindaje .....	9
7.6	Redundancia de rutas .....	9
Anexo A	– Evaluación de la corriente de ruptura por la cubierta.....	10
A.1	Cables enterrados .....	10
A.2	Cables aéreos .....	10

	<b>Página</b>
Apéndice I – Pruebas para la evaluación de la inmunidad de los cables a las sobrecargas.....	11
I.1 Tensión de ruptura ( $U_b$ ) .....	11
I.2 Corriente de prueba ( $I_t$ ) para un cable enterrado .....	11
I.3 Corriente de prueba ( $I_t$ ) para un cable aéreo.....	12
Apéndice II – Pérdida esperada por daños ( $\delta$ ).....	12

## Recomendación UIT-T K.47

### Protección de las líneas de telecomunicación que utilizan conductores metálicos contra las descargas directas de rayos

#### 1 Alcance

El objeto de esta Recomendación es la protección de las líneas de telecomunicación que utilizan conductores metálicos contra las descargas directas de rayos en la propia línea o en estructuras en las que entra la línea. Cuando se aplique esta Recomendación, el usuario aplicará primero los procedimientos destinados a proteger la línea contra las sobrecargas inducidas por el rayo, como se describe en la referencia [1].

Las líneas objeto de esta Recomendación son aquellas que, debido a que están expuestas a descargas directas de rayos y/o a que prestan un servicio que exige un alto grado de fiabilidad, requieren un diseño específico desde el punto de vista de la protección. La presente Recomendación contiene un procedimiento de evaluación del riesgo de daños esperado ( $R_p$ ) que para esas líneas representan las descargas directas de rayos. Si el valor obtenido es mayor que el del riesgo de daños tolerable ( $R_t$ ), deberán aplicarse procedimientos de protección en la línea de telecomunicación para reducir  $R_p$ .

Esta Recomendación se refiere a líneas compuestas por los siguientes tipos de cables:

- cables simétricos: cables con una cubierta metálica y un núcleo compuesto de muchos pares de cobre simétricos metálicos, con o sin revestimiento plástico y/o hilo soporte;
- cables coaxiales: cables con conductores interiores y exteriores separados por un dieléctrico, con o sin revestimiento plástico e/o hilo soporte.

Los procedimientos de protección de líneas compuestas por cables de fibra óptica figuran en la referencia [2].

#### 2 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] UIT-T K.46 (2000), *Protección de las líneas de telecomunicación que utilizan conductores simétricos metálicos contra las sobrecargas inducidas por el rayo.*
- [2] UIT-T K.25 (2000), *Protección de los cables de fibra óptica.*
- [3] UIT-T K.12 (2000), *Características de los descargadores de gas para la protección de las instalaciones de telecomunicaciones.*
- [4] CEI 61663-2, *Lightning protection – Telecommunication lines – Part 2: Lines using metallic conductors.*

### 3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

**3.1 riesgo esperado de daños ( $R_p$ ):** Pérdida anual esperada del servicio de la línea de telecomunicación debida a las descargas directas de rayos.

**3.2 riesgo tolerable de daños ( $R_t$ ):** Nivel máximo del riesgo de daños que no requiere medidas de protección adicionales.

**3.3 pérdida esperada por daños ( $\delta$ ):** Importancia relativa de la pérdida de servicio esperada debida a los daños causados por las descargas directas de rayos en una línea de telecomunicación.

**3.4 frecuencia de los daños ( $F_p$ ):** Media anual del número de interrupciones del servicio en una línea de telecomunicación causadas por descargas directas de rayos.

**3.5 distancia de descarga ( $D$ ):** Distancia desde la línea que, cuando se multiplica por dos, por la longitud de la línea ( $L$ ) y por la densidad de descargas a tierra ( $N_g$ ), da el número de descargas directas de rayos por año que afectan a la línea.

**3.6 corriente que provoca fallos ( $I_a$ ):** Valor de cresta mínimo de la corriente de rayo que provoca daños en una línea de telecomunicación.

**3.7 corriente de ruptura por la cubierta ( $I_s$ ):** Corriente mínima que circula por la cubierta metálica de un cable y causa tensiones de ruptura entre los elementos metálicos del núcleo del cable y la cubierta metálica, produciendo por ello daños.

**3.8 corriente de prueba ( $I_t$ ):** Corriente mínima inyectada por arco en la cubierta metálica del cable que causa daños debidos a efectos térmicos o mecánicos.

**3.9 tensión de ruptura ( $U_b$ ):** Tensión de ruptura de impulsos entre los componentes metálicos del núcleo y la cubierta metálica de un cable de telecomunicación.

**3.10 nivel cerámico ( $T_d$ ):** Número de días por año en los que se oye un trueno en un lugar determinado.

**3.11 factor de corrección por daños ( $K_d$ ):** Factor que permite una evaluación conservadora de la frecuencia de los daños.

**3.12 factor de protección ( $K_p$ ):** Factor que tiene en cuenta el efecto de los procedimientos de protección.

### 4 Configuración de referencia

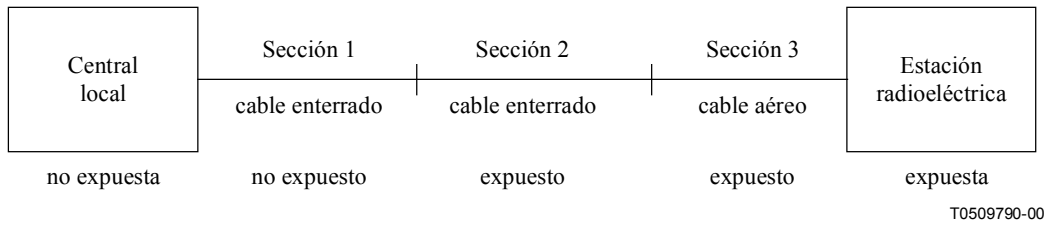
Para evaluar el riesgo de daños ( $R_p$ ) de una línea, quizás haya de ser segmentada de tal manera que cada sección tenga las mismas características con respecto a:

- el tipo de instalación del cable (aéreo, enterrado);
- el nivel cerámico;
- la resistividad media del suelo;
- el tipo de cable;
- el tipo de entorno (urbano, suburbano, rural).

También es importante identificar las estructuras expuestas en las que entran la línea o sus ramales. Se ha de evaluar el valor de  $R_p$  para cada sección, y el valor de la línea es la suma de los valores de las secciones, incluidos los valores correspondientes a las descargas que se producen en las estructuras en las que entra la línea. La figura 1 muestra un ejemplo de línea con diferentes tipos de



entorno e instalación de cables. Para esta línea, se calculará el valor de  $R_p$  de las secciones expuestas y la estructura.



**Figura 1/K.47 – Configuración de referencia (ejemplo)**

## 5 Riesgo de daños esperado

### 5.1 Consideraciones generales

Los procedimientos de protección contra el rayo de una línea de telecomunicación dependen del riesgo esperado de daños ( $R_p$ ) y del riesgo de daños tolerable ( $R_t$ ). El riesgo esperado de daños ( $R_p$ ) viene dado por la ecuación siguiente:

$$R_p = F_{pa} \delta_a + F_{pb} \delta_b + F_{ps} \delta_s \quad (1)$$

donde:

$F_{pa}$  es la frecuencia de los daños debidos a las descargas directas de rayos en cables aéreos;

$F_{pb}$  es la frecuencia de los daños debidos a las descargas directas de rayos en cables enterrados;

$F_{ps}$  es la frecuencia de los daños debidos a las descargas directas de rayos en las estructuras en las que entran los cables;

$\delta_a$  es la pérdida esperada por daños debidos a las descargas directas de rayos en cables aéreos;

$\delta_b$  es la pérdida esperada por daños debidos a las descargas directas de rayos en cables enterrados;

$\delta_s$  es la pérdida esperada por daños debidos a las descargas directas de rayos en las estructuras en las que entran los cables.

Los valores de  $\delta_a$ ,  $\delta_b$  y  $\delta_s$  serán determinados por el operador de la red o el propietario de la instalación. En el apéndice II se proponen valores representativos para el caso en que no pueda llevarse a cabo esa determinación. El valor máximo del riesgo de daños tolerable ( $R_t$ ) especificado por esta Recomendación es  $R_t = 10^{-3}$ .

Si el riesgo esperado de daños es mayor que el riesgo tolerable de daños ( $R_p > R_t$ ), es preciso introducir medidas protectoras adicionales para reducir  $F_p$ . En las subcláusulas que siguen se presenta un procedimiento de evaluación de  $F_p$ .

## 5.2 Frecuencia de daños en los cables

La frecuencia de daños en cables aéreos y enterrados ( $F_{pa}$  y  $F_{pb}$ ) se puede calcular mediante las ecuaciones siguientes:

$$F_{pa} = 2N_g L D p(I_a)K_e 10^{-3} \quad [\text{daños/año}] \quad (2)$$

$$F_{pb} = 2N_g L D p(I_a)K_e K_d 10^{-3} \quad [\text{daños/año}] \quad (3)$$

donde:

- L longitud de la línea [km]
- $p(I_a)$  factor de probabilidad de corriente (véase 5.4.2)
- $K_e$  factor de entorno (véase 5.4.3)
- $N_g$  densidad de descargas de rayos a tierra [ $\text{km}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ] (véase 5.4.1)
- D distancia de descarga [m] (véase 5.4.4)
- $I_a$  corriente que provoca fallos [kA] (véase cláusula 6)
- $K_d$  factor de corrección por daños (véase 5.4.5)

## 5.3 Frecuencia de los daños en las estructuras en las que entran los cables

La corriente de rayo de una descarga directa en una estructura expuesta circula por el sistema de puesta a tierra de la estructura y por los elementos metálicos de los servicios generales que entran en la estructura. Por ello, una parte de la corriente del rayo entra en la conexión y en la cubierta del cable de telecomunicación, en el que puede provocar daños. La frecuencia de los daños en las estructuras ( $F_{ps}$ ) se puede estimar aplicando la ecuación siguiente:

$$F_{ps} = N_g \cdot A_d \cdot p(I_a) \quad (4)$$

donde:

$A_d$  es la zona colectora de las descargas directas de rayos en la estructura. Para una estructura separada de otras estructuras más altas, en terreno llano y hasta 60 m de altura,  $A_d$  se puede calcular aplicando la ecuación (5):

$$A_d = (a \cdot b + 6h \cdot a + 6h \cdot b + 9\pi h^2) 10^{-6} \quad [\text{km}^2] \quad (5)$$

a = longitud [m]

b = anchura [m]

h = altura [m]

## 5.4 Parámetros para la evaluación de la frecuencia de los daños

### 5.4.1 Densidad de descargas de rayos a tierra ( $N_g$ )

La densidad de descarga de rayos a tierra ( $N_g$ ) es el número medio de descargas de rayos por kilómetro cuadrado de superficie y por año. En algunos países, la  $N_g$  se mide directamente mediante sistemas de detección de rayos, por lo que se dispone de esa información con relativa exactitud. En el caso de que no existan datos sobre  $N_g$ , puede estimarse aplicando la ecuación siguiente:

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} \quad [\text{km}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}] \quad (6)$$

En la ecuación (6),  $T_d$  es el valor cerámico. Los valores de  $T_d$  se obtienen normalmente a partir de mapas isocerámicos.

#### 5.4.2 Factor de probabilidad de corriente ( $p(i)$ )

El factor de probabilidad de corriente es la distribución de la probabilidad acumulativa de corrientes de rayos ( $p(i)$ ), dada por la ecuación (7):

$$p(i) = 10^{-2} e^{(a-bi)} \quad \text{para } i \geq 0 \quad (7)$$

donde:

$i$	corriente de cresta del rayo [kA]		
$a = 4,605$ y	$b = 0,0117$		para $i \leq 20$ kA
$a = 5,063$ y	$b = 0,0346$		para $i > 20$ kA

#### 5.4.3 Factor de entorno ( $K_e$ )

Cuando las líneas de telecomunicación están instaladas en zonas urbanas, normalmente están protegidas contra las descargas directas de los rayos gracias al apantallamiento que proporcionan los edificios. Por ello, para tener en cuenta este efecto de apantallamiento, se define el factor de entorno siguiente:

- $K_e = 0$  para zonas no expuestas;
- $K_e = 1$  para zonas expuestas.

El operador de la red o el propietario de la instalación deberá hacer una estimación del valor del factor de entorno ( $K_e$ ) correspondiente a la sección de línea considerada. Para ayudar en esa estimación, la presente Recomendación propone que las zonas urbanas se consideren como entornos no expuestos y las zonas rurales como entornos expuestos. En la Recomendación K.46 [1] se da un método experimental de evaluación de  $K_e$ .

#### 5.4.4 Distancia de descarga ( $D$ )

##### a) Cables enterrados

Para cables enterrados, la distancia de descarga se calcula como una función de la resistividad de tierra, de la manera siguiente:

$$D = 0,482(\rho)^{1/2} \quad \text{para } \rho \leq 100 \Omega.m \quad (8)$$

$$D = 2,91 + 0,191(\rho)^{1/2} \quad \text{para } 100 \Omega.m < \rho < 1000 \Omega.m$$

$$D = 0,283(\rho)^{1/2} \quad \text{para } \rho \geq 1000 \Omega.m$$

##### b) Cables aéreos

Para cables aéreos, la distancia de descarga viene dada por la ecuación siguiente:

$$D = 3H [m] \quad (9)$$

donde:

$H$  altura de la línea [m], que deberá estar comprendida entre 4 m y 15 m

### 5.4.5 Factor de corrección por daños ( $K_d$ )

Deberán considerarse los siguientes valores del factor de corrección por daños:

- $K_d = 2,5$  para cables no blindados y enterrados;
- $K_d = 1,0$  para cables blindados y enterrados.

## 6 Determinación de la corriente que provoca fallos ( $I_a$ )

### 6.1 Descargas de rayos en cables

En el caso de cables no blindados, se considera que la corriente que provoca fallos es cero en tanto en cuanto cualquier descarga directa de un rayo en el cable produzca daño. En el caso de cables blindados, la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ) es el menor de los dos valores siguientes:

- la corriente de prueba ( $I_t$ );
- dos veces la corriente de ruptura por la cubierta ( $I_s$ ), calculada siguiendo el procedimiento que se indica en el anexo A.

Para cables de telecomunicación típicos con cubierta de plomo, el valor de la corriente de prueba es de 40 kA, mientras que si la cubierta es de aluminio ese valor es de 20 kA. Si existe alguna evidencia de que esos valores no son aplicables para un diseño de cable determinado, se aplicarán las pruebas descritas en el apéndice I para la evaluación de la corriente de prueba.

### 6.2 Descargas de rayos en las estructuras en las que entran los cables

En el caso de descargas en las estructuras en las que entran los cables, la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ) viene dada por:

$$I_a = 2n I_s \quad (10)$$

donde:

$n$  número de elementos metálicos de los servicios generales (telecomunicaciones, energía eléctrica, agua, etc.) que entran en la estructura

$I_s$  corriente de ruptura de la cubierta evaluada como sigue:

- para cables no blindados,  $I_s = 0$ ;
- para cables blindados,  $I_s$  se calcula siguiendo el procedimiento del anexo A.

NOTA – Adoptar el valor  $I_s = 0$  para cables no blindados es una simplificación (conservadora) con respecto a CEI 61663-2 [4].

## 7 Procedimientos de protección

La cubierta metálica del cable de telecomunicación deberá ser continua a lo largo de toda la línea, lo que significa que deberá estar conectada a través de todos los empalmes, regeneradores, etc. La cubierta metálica deberá estar conectada (directamente o a través de un dispositivo de protección contra sobrecargas (SPD, *surge protective device*) con la barra de puesta a masa equipotencial en los extremos del cable.

Cuando se evalúa la frecuencia de los daños ( $F_p$ ), es importante identificar los segmentos de línea que son más representativos del valor de  $F_p$  y concentrar los esfuerzos de protección en ellos. Utilizando procedimientos de protección se reduce la frecuencia de los daños por el factor de protección ( $K_p$ ), como se indica a continuación:

$$F'_p = F_p \cdot K_p \quad (11)$$

donde:

$F'_p$  es la frecuencia de los daños después de la aplicación del procedimiento de protección;

$F_p$  es la frecuencia de los daños antes de la aplicación del procedimiento de protección.

Muchos procedimientos de protección reducirán la frecuencia de los daños aumentando la corriente de fallo. En este caso, el factor de protección viene dado por:

$$K_p = \exp[b_1(I_a - I'_a)] \quad \text{para } I_a \text{ e } I'_a \leq 20 \text{ kA} \quad (12)$$

$$K_p = \exp[b_2(I_a - I'_a)] \quad \text{para } I_a \text{ e } I'_a > 20 \text{ kA}$$

$$K_p = \exp[(a_2 - a_1) + (b_1 I_a - b_2 I'_a)] \quad \text{para } I_a \leq 20 \text{ kA e } I'_a > 20 \text{ kA}$$

donde:

$I'_a$  corriente que provoca fallos después de la aplicación del procedimiento de protección;

$I_a$  corriente que provoca fallos antes de la aplicación del procedimiento de protección;

$$a_1 = 4,605;$$

$$a_2 = 5,063;$$

$$b_1 = 0,0117;$$

$$b_2 = 0,0346.$$

## 7.1 Selección del entorno

Cuando se diseña una línea de telecomunicación, es posible seleccionar la ruta del cable para reducir su exposición a los rayos. Si se toma como referencia una línea rural en terreno llano, se pueden obtener los factores siguientes seleccionando la ruta del cable:

- $K_p = 0,25$  para una línea aérea rodeada de estructuras de la misma altura o altura superior (líneas de potencia, árboles, etc.);
- $K_p = 0,50$  para líneas aéreas rodeadas de estructuras más bajas;
- $K_p = 2,0$  para una línea situada en lo alto de una colina o una loma.

NOTA – La influencia de las estructuras cercanas y de las colinas en la frecuencia de las descargas directas de rayos en las líneas de telecomunicación se representa en CEI 61663-2 [4] mediante el Coeficiente de Entorno ( $C_e$ ).

## 7.2 Elección del cable

### 7.2.1 Cable de fibra óptica dieléctrico

Un cable de fibra óptica dieléctrico no recibe directamente los impactos de los rayos. Por ello, su utilización permite tener un factor de protección  $K_p = 0$ .

### 7.2.2 Cable con elevada corriente de ruptura por la cubierta

Si la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ) viene determinada por la corriente de ruptura por la cubierta ( $I_s$ ), es posible obtener un cable con  $I_s$  mayor mediante:

- el incremento de la tensión de ruptura de la cubierta eligiendo aislamiento de plástico en vez de papel o mejorando el aislamiento en los empalmes, por ejemplo;
- la reducción de la resistencia de la cubierta utilizando una cubierta metálica más espesa, por ejemplo.

Para la protección contra las descargas directas de los rayos en la línea de telecomunicación, la corriente de ruptura por la cubierta no deberá aumentarse por encima de la corriente de prueba.

El factor de protección debido al incremento de la corriente de fallo viene dado por la ecuación (12).

### 7.2.3 Cable con elevada tensión de ruptura de la cubierta

Si la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ) viene determinada por la corriente de prueba ( $I_t$ ), es posible obtener un cable con  $I_t$  mayor mediante:

- la utilización de una cubierta con elevada resistencia mecánica (por ejemplo, de hierro);
- la utilización de una cubierta metálica más espesa.

Para la protección contra las descargas directas de los rayos en la línea de telecomunicación, la corriente de prueba no deberá aumentarse por encima de la corriente de ruptura por la cubierta.

El factor de protección debido al incremento de la corriente de fallo viene dado por la ecuación (12).

## 7.3 Instalación enterrada o aérea

Los cables aéreos están más expuestos a las descargas de los rayos que los cables enterrados. Para resistividades del suelo comprendidas entre 100 y 1000  $\Omega \cdot m$  y una altura de línea de 5 metros, una línea aérea recibirá de 3 a 1,7 veces más descargas de rayos que una línea enterrada. Sin embargo, el valor de la corriente de fallo de una instalación enterrada puede ser mayor o menor que el correspondiente a una instalación aérea, dependiendo de las características del cable. Además, hay que tener en cuenta que se tarda más en reparar daños en los cables enterrados que en los cables aéreos, lo que significa que el aumento relativo de pérdidas por daño puede compensar una reducción en la frecuencia esperada de daños debidos al enterramiento del cable. Por consiguiente, la decisión de enterrar el cable para protegerlo contra las descargas directas de los rayos ha de tomarse teniendo en cuenta las características específicas del cable. Para ello puede recurrirse al cálculo y la comparación de los riesgos de daños ( $R_p$ ) en una instalación aérea y en una instalación enterrada, utilizando los procedimientos de la presente Recomendación.

## 7.4 Utilización de dispositivos de protección contra sobrecargas (SPD)

Los dispositivos de protección contra sobrecargas (SPD) se pueden instalar en el punto en el que el cable entra en una estructura expuesta a las descargas directas de los rayos, para reducir las frecuencias de los daños ( $F_{ps}$ ). El SPD deberá cumplir lo especificado en UIT-T K.12 [3] y deberá conectarse entre los conductores del cable y la barra de puesta a masa equipotencial (EBB, *equipotential bonding bar*) de la estructura. Si el cable está blindado, su blindaje se pondrá a masa en la EBB. Si el cable no está blindado, se instalará dentro de un conducto metálico enterrado en el suelo, el cual se pondrá a masa en la EBB.

La longitud de la sección blindada enterrada (cable blindado o cable no blindado dentro de un conducto metálico) que se prolonga desde la estructura viene dada por:

$$2,5\rho^{1/2} \leq L_p \leq 8\rho^{1/2} \quad (13)$$

donde  $\rho$  es la resistividad de tierra, en  $\Omega\cdot\text{m}$ .

NOTA – Una longitud mayor conduce a una protección más conservadora.

A una distancia  $L_p$  de la estructura, se instalará otro conjunto de SPD entre los conductores y la cubierta del cable (o conducto metálico).

La instalación de un SPD tal como se describe en esta subcláusula aumentará la corriente de ruptura por la cubierta. El nuevo valor de  $I_s$  viene dado por:

$$I_s = 8 \cdot S_c \cdot \left( m + \frac{R_c}{R} \right) \quad (14)$$

donde:

$m$  es el número de conductores del cable;

$S_c$  es la superficie de la sección transversal del conductor [ $\text{mm}^2$ ];

$R_c$  es la resistencia del conductor por unidad de longitud [ $\Omega/\text{km}$ ];

$R$  es la resistencia de la cubierta (o conducto metálico) por unidad de longitud ( $\Omega/\text{km}$ ).

El factor de protección debido al incremento de  $I_s$  viene dado por las ecuaciones (10) y (12).

## 7.5 Blindaje

Para limitar la corriente que entra en la cubierta del cable se pueden instalar hilos de blindaje en paralelo con el cable, de manera que la corriente se comparta entre el cable y los hilos de blindaje. Los hilos de blindaje aumentan el valor de la corriente que provoca fallos ( $I_a$ ) y, por tanto, reducen la frecuencia de los daños. El nuevo valor de la corriente que provoca fallos ( $I'_a$ ) viene dado por:

$$I'_a = \frac{I_a}{\eta} \quad (15)$$

donde  $\eta$  es el factor de blindaje. El factor de protección ( $K_d$ ) obtenido con la utilización de hilos de blindaje lo dan las ecuaciones (15) y (12).

La Recomendación UIT-T K.25 [2] contiene los valores del factor de blindaje correspondientes a diferentes disposiciones de los hilos de blindaje. De acuerdo con CEI 61663-2 [4], los siguientes son valores aproximados del factor de protección:

- $K_p = 0,6$  con un hilo de blindaje
- $K_p = 0,4$  con dos hilos de blindaje
- $K_p = 0,01$  con un tubo de acero

## 7.6 Redundancia de rutas

Para reducir el riesgo de daños, es posible instalar dos líneas de manera que la probabilidad de que ambas se estropeen simultáneamente sea muy pequeña. Seleccionando de forma adecuada la separación entre líneas, se puede evitar que la misma descarga de un rayo dañe a ambas. Una separación mínima de 30 m y 50 m para resistividades del suelo de 100  $\Omega\cdot\text{m}$  y 1000  $\Omega\cdot\text{m}$ , respectivamente, es suficiente para cables enterrados y cables aéreos. Si las líneas están separadas de manera que la probabilidad de que la descarga de un rayo alcance a las dos líneas sea irrelevante, aún es posible que ambas resulten dañadas durante un breve intervalo de tiempo, por lo que no es seguro que la brigada de mantenimiento repare la línea que falló en primer lugar antes de que falle la segunda. Esta situación se puede dar durante la misma tormenta y determinará la frecuencia con que se produce el riesgo esperado en las líneas redundantes.

## ANEXO A

### Evaluación de la corriente de ruptura por la cubierta

El procedimiento de este anexo se aplica a cables con una cubierta metálica. Para cables de telecomunicación típicos se consideran los siguientes valores de tensión de ruptura:

- cables con aislamiento de papel:  $U_b = 1,5 \text{ kV}$
- cables con aislamiento de plástico:  $U_b = 5 \text{ kV}$

Si hay evidencia de que estos valores no son aplicables a un determinado diseño de cable, se aplicarán las pruebas descritas en el apéndice I para la evaluación de la tensión de ruptura.

#### A.1 Cables enterrados

La corriente de ruptura por la cubierta ( $I_s$ ) del cable con cubierta metálica, con o sin revestimiento protector aislante, puede estimarse de la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho^{1/2}} \quad [kA] \quad (A-1)$$

donde:

- $K = 8$  es el factor de forma de onda para la corriente de rayo  $[(m/\Omega)^{0,5}]$
- $R$  es la resistencia de la cubierta por unidad de longitud  $[\Omega/km]$
- $U_b$  es la tensión de ruptura del cable  $[V]$
- $\rho$  es la resistividad del suelo  $[\Omega.m]$

#### A.2 Cables aéreos

La corriente de ruptura por la cubierta ( $I_s$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_s = \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho_e^{1/2}} \quad (A-2)$$

$\rho_e$  es la resistividad efectiva de la tierra en  $\Omega/m$ , que se define por:

$$\rho_e = \frac{\pi \cdot d \cdot R_g}{\ln\left(2 \cdot \frac{H}{a}\right)} \quad (A-3)$$

donde:

- $d$  es el espaciamiento entre puntos de puesta a tierra en metros (se supone que  $d$  es corto, por lo que se producen reflexiones mucho antes de que se alcance la tensión o la corriente de cresta)
- $H$  es la altura del cable en metros
- $a$  es el radio del cable en metros
- $R_g$  es la resistencia de los puntos de puesta a tierra en  $\Omega$ .



## APÉNDICE I

### Pruebas para la evaluación de la inmunidad de los cables a las sobrecargas

Hay que señalar que estas pruebas tienen por objeto evaluar la inmunidad a los rayos de los cables metálicos y no son aplicables para la calificación de un diseño de cable. Bajo la responsabilidad del fabricante del cable, los resultados de pruebas en un tipo de cable pueden utilizarse para otro de similares características desde el punto de vista de la construcción.

La prueba de la tensión de ruptura se efectuará con un generador de impulsos que produce una tensión de circuito abierto con una forma de onda exponencial doble de  $1,2/50 \mu\text{s}$ . El generador de corriente para la prueba de inmunidad de los cables ópticos a las sobrecorrientes está en estudio. Se sugieren las siguientes formas de onda de corriente, medidas con la muestra de prueba local:

- forma de onda exponencial doble con un tiempo de establecimiento de  $10 \mu\text{s}$  y un tiempo de caída de semiamplitud de  $350 \mu\text{s}$ ;
- forma de onda oscilatoria amortiguada con un tiempo máximo de subida hasta el valor de cresta de  $15 \mu\text{s}$  y una frecuencia máxima de  $30 \text{ kHz}$ . El tiempo de subida hasta el valor de semiamplitud de su envolvente será entre  $40 \mu\text{s}$  y  $70 \mu\text{s}$ .

#### I.1 Tensión de ruptura ( $U_b$ )

En esta prueba se utiliza una muestra del cable de  $5 \text{ m}$  de longitud. Se interconectan eléctricamente los componentes conductores dentro del núcleo del cable para formar un terminal. El otro terminal está formado por la cubierta metálica aislada de los demás elementos conductores. Se trata la terminación de la cubierta para reproducir, lo más aproximadamente posible, las condiciones de una instalación real. Se coloca un generador de sobretensiones entre los dos terminales. Durante la prueba se mide la tensión de prueba. Después de aplicar tensiones de prueba de amplitud ascendente, la prueba permite determinar el valor umbral de sobretensión ( $U_b$ ) que causa la ruptura.

#### I.2 Corriente de prueba ( $I_t$ ) para un cable enterrado

Se entierra una muestra de cable de  $1 \text{ m}$  de longitud en arena húmeda contenida en una caja rígida no conductora, de una longitud mínima de  $0,75 \text{ m}$  en todas sus dimensiones lineales internas. La caja tiene dos agujeros de aproximadamente  $25 \text{ mm}$  de diámetro en el fondo para el drenaje del agua. La arena, de sílice de tamiz 20-40, habrá sido saturada durante un máximo de  $8 \text{ horas}$  y drenada durante por lo menos  $5 \text{ minutos}$  antes de las pruebas. Se introduce la muestra de cable en la caja de prueba y se comprime a su alrededor la arena mojada. El contenido de humedad de la arena en su volumen más crítico es del  $15\%$  en peso. Cerca del centro de la caja de prueba, se coloca un electrodo de descarga a una distancia de  $26 \pm 1 \text{ mm}$  de la muestra. Se interconectan eléctricamente todos los componentes conductores del cable para formar un solo terminal y se coloca un generador de corriente entre dicho terminal y el electrodo de descarga. A fin de que la corriente de prueba atraviese la muestra, se practicará una pequeña hendidura u orificio con un instrumento de  $1 \text{ mm}$  de diámetro en los aislamientos que recubren la cubierta metálica exterior o la barrera antihumedad del cable frente al electrodo de descarga. Si la tensión del generador de prueba no logra provocar una descarga por el intervalo de aire, se conecta un cable fino al electrodo de descarga con cubierta metálica. Después de aplicar corrientes de descarga de amplitud ascendente, se prueba la muestra para verificar la continuidad de sus elementos metálicos y la resistencia del aislamiento entre los mismos. Esta prueba permite determinar el valor umbral de sobrecorriente que provoca el fallo primario. Ese valor es la corriente de prueba ( $I_t$ ).

### I.3 Corriente de prueba ( $I_t$ ) para un cable aéreo

Se pone en tensión una muestra de cable de 1 metro de longitud, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Cerca de la muestra, a una distancia de  $26 \pm 1$  mm, se coloca un electrodo de descarga. Se conectan eléctricamente juntos todos los componentes conductores del cable para formar un solo terminal, y se coloca un generador de corriente de prueba entre dicho terminal y el electrodo de descarga. Para que la corriente de prueba atraviese la muestra, se practicará una pequeña hendidura u orificio con un instrumento de 1 mm de diámetro en los aislamientos que recubren la cubierta metálica exterior frente al electrodo de descarga. Si la tensión del generador de prueba no logra provocar una descarga por el intervalo de aire, se conecta un cable fino al electrodo de descarga con cubierta metálica. Después de aplicar corrientes de descarga de amplitud ascendente, se prueba la muestra para verificar la continuidad de sus elementos metálicos y la resistencia del aislamiento entre los mismos. Esta prueba determina el valor umbral de sobrecorriente que provoca daños. Ese valor es la corriente de prueba ( $I_t$ ).

## APÉNDICE II

### Pérdida esperada por daños ( $\delta$ )

Los daños causados por las descargas de rayos en una instalación de telecomunicación pueden producir una pérdida de servicio inaceptable. En este caso, la decisión de aplicar o no medidas protectoras deberá tomarse comparando el riesgo de daños esperado ( $R_p$ ) de la instalación con el valor del riesgo de daños tolerable ( $R_t$ ). El valor de  $R_p$  se calcula con la ecuación (1), en base a la importancia relativa de la pérdida esperada por daños.

Se proponen los valores siguientes de pérdida esperada por daños (en base a CEI 61663-2 [4]):

$$\delta_a = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ (daños debidos a las descargas directas de rayos en líneas aéreas)}$$

$$\delta_b = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ (daños debidos a las descargas directas de rayos en líneas enterradas)}$$

$$\delta_s = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ (daños debidos a las descargas directas de rayos en las estructuras)}$$



## 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 multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
<b>Serie K</b>	<b>Protección contra las interferencias</b>
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: 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 Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación