



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.25

(02/2000)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

Protección de los cables de fibra óptica

Recomendación UIT-T K.25

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIÓN UIT-T K.25

PROTECCIÓN DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA

Resumen

En esta Recomendación se indica un procedimiento para proteger las líneas de telecomunicación que utilizan fibras ópticas 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, el uso de hilos de blindaje, la puesta a masa/tierra del blindaje del cable, la instalación de dispositivos de protección contra sobrecargas (SPD) y la redundancia de rutas.

Orígenes

La Recomendación UIT-T K.25 ha sido revisada por la Comisión de Estudio 5 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 25 de febrero 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 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.

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 2000

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	Campo de aplicación y objeto.....	1
2	Referencias.....	1
3	Definiciones.....	1
4	Configuración de referencia.....	3
5	Características de construcción del cable.....	3
5.1	Consideraciones generales.....	3
5.2	Corriente que provoca fallos en un cable enterrado o cable aéreo con conexiones a tierra de la cubierta metálica.....	3
5.3	Corriente que provoca fallos en un cable aéreo sin conexiones a tierra de la cubierta metálica.....	4
6	Necesidad de protección.....	5
7	Medidas de protección.....	5
7.1	Consideraciones generales.....	5
7.2	Cables dieléctricos o sin partes metálicas.....	6
7.3	Elección de las características del cable para instalaciones subterráneas y aéreas.....	6
7.4	Utilización de hilo de blindaje en los cables enterrados.....	6
7.5	Redundancia de rutas.....	7
	Anexo A – Frecuencia de fallos primarios.....	7
A.1	Cable enterrado.....	7
A.2	Cable aéreo.....	8
A.3	Cables que entran en una estructura expuesta a descargas directas de rayos.....	8
	Anexo B – Corriente de ruptura en la cubierta.....	9
B.1	Cable enterrado.....	9
B.2	Cable aéreo.....	9
	B.2.1 Cable aéreo sin conexiones a tierra de la cubierta metálica.....	9
	B.2.2 Cable aéreo con conexiones a tierra de la cubierta metálica.....	10
	Anexo C – Pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes.....	11
C.1	Consideraciones generales.....	11
C.2	Prueba de tensión de ruptura.....	11
C.3	Prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión.....	11
C.4	Prueba de la caja con arena para cables enterrados.....	12
C.5	Prueba para cables aéreos.....	12

	Página
Apéndice I – Factor de blindaje	14
I.1 Factor de blindaje para un hilo de blindaje	14
I.2 Factor de blindaje para múltiples hilos de blindaje	14
I.3 Longitud mínima de los hilos de blindaje enterrados	15
Apéndice II – Frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a)	16
Apéndice III – Factor de entorno (K_e).....	17
Apéndice IV – Bibliografía.....	17

Recomendación K.25

PROTECCIÓN DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA

(Melbourne, 1988, revisada en 1996 y 2000)

1 Campo de aplicación y objeto

Esta Recomendación trata de la protección contra el rayo de las líneas de telecomunicación en instalaciones de fibra óptica.

El objeto de esta Recomendación es limitar el número de posibles fallos primarios que se producen en el cable de fibra óptica de una determinada instalación a valores inferiores o iguales al valor límite, definido como la frecuencia aceptada de fallos primarios.

Por consiguiente, esta Recomendación describe el método para calcular el número posible de fallos primarios y elegir las medidas de protección factibles.

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] Recomendación CCITT K.29 (1992), *Sistemas de protección coordinada para cables de telecomunicación subterráneos*.
- [2] Recomendación UIT-T K.11 (1993), *Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes*.
- [3] Recomendación UIT-T K.39 (1996), *Evaluación del riesgo de daños en los emplazamientos de telecomunicación debido a descargas del rayo*.

3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 fallo primario: Daño causado por una descarga de rayo en una línea de telecomunicación, que produce la interrupción del servicio.

3.2 frecuencia de fallos primarios (F_p): Número medio anual de fallos primarios previstos en una instalación de fibra óptica debido a descargas directas de rayos.

3.3 riesgo de fallos primarios (R_d): Pérdida de función anual media probable en la instalación de fibra óptica debida a descargas directas.

3.4 frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a): Número medio anual de fallos primarios en una instalación de fibra óptica que no requiere medios de protección adicionales.

3.5 riesgo tolerable de fallos primarios (R_a): Nivel máximo tolerable de fallos primarios (R_d) debido a descargas directas de rayos que no requiere medios de protección adicionales.

- 3.6 descarga directa de rayo:** Descarga de un rayo en un cable aéreo o en la superficie de la tierra, en la que se supone que toda la corriente de rayo es conducida al cable.
- 3.7 frecuencia de descargas directas de rayos (N_d):** Número medio anual previsto de descargas directas de rayos en una instalación de fibra óptica.
- 3.8 distancia de descarga (D):** Distancia desde un cable enterrado que, cuando se multiplica por 2, por la longitud de línea (L) y la densidad de descargas a tierra (N_g), da la frecuencia de descargas directas de rayos (N_d) del cable.
- 3.9 corriente que provoca fallos (I_a):** Valor de cresta mínimo de la corriente de rayo que produce un arco directo en el cable y causa fallos primarios.
- 3.10 corriente de ruptura en la cubierta (I_s):** Corriente mínima que circula por la cubierta metálica y causa tensiones de ruptura entre los elementos metálicos del núcleo del cable y la cubierta metálica, produciendo así fallos primarios.
- 3.11 corriente de conexión (I_c):** Corriente mínima que circula por los elementos de interconexión, que causa un fallo primario debido a efectos térmicos o mecánicos.
- 3.12 elementos de interconexión:** Elementos metálicos que conectan las cubiertas o elemento(s) metálicos de resistencia mecánica del cable de fibra óptica con las uniones y los extremos del cable.
- 3.13 corriente de prueba (I_t):** Corriente mínima inyectada por arco en la cubierta metálica del cable que causa un fallo primario debido a efectos térmicos o mecánicos.
- 3.14 tensión de ruptura (U_b):** Tensión de ruptura de impulsos entre los componentes metálicos del núcleo y la cubierta metálica del cable óptico.
- 3.15 factor de corrección de daños (K_d):** Valor que permite una evaluación conservadora de la frecuencia de fallos primarios.
- 3.16 dispositivo de protección contra sobrecargas (SPD, *surge protective device*):** Dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias y a desviar las sobrecorrientes. Contiene por lo menos un componente no lineal.
- 3.17 barra de puesta a masa equipotencial (E.B.B., *equipotential bonding bar*):** Barra eléctricamente conductora cuyo potencial eléctrico se utiliza como referencia común, y a la cual pueden conectarse las partes metálicas de la instalación.
- 3.18 corriente de descarga directa del rayo en los cables aéreos (J):** Corriente mínima producida por el rayo que sacude a un cable aéreo y produce una descarga a tierra.
- 3.19 estructura expuesta:** Estructura, por ejemplo, torre de telecomunicación, edificio alto, que necesita ser protegida contra las descargas directas de rayos.
- 3.20 nivel cerámico o días de tormenta (T_d):** Número de días por año en los que se oye un trueno en un lugar determinado.
- 3.21 densidad de descargas a tierra (N_g):** Número medio de descargas de rayos por kilómetro cuadrado de superficie y por año en la región en la que está situada la estructura del cable de fibra óptica.
- 3.22 zona colectora del rayo:** Zona de la superficie de la tierra que tiene la misma frecuencia anual de descargas directas de rayos que la estructura o la línea.

4 Configuración de referencia

La figura 1 representa la configuración de referencia para las instalaciones de fibra óptica, donde se muestran las conexiones con cables de fibra óptica entre dos centrales locales, entre central local y terminación de línea y entre central local y equipo de línea.

NOTA – Para la protección de las instalaciones de cable metálico contra el rayo entre equipo y abonado, se consideran los requisitos establecidos por la referencia [2].

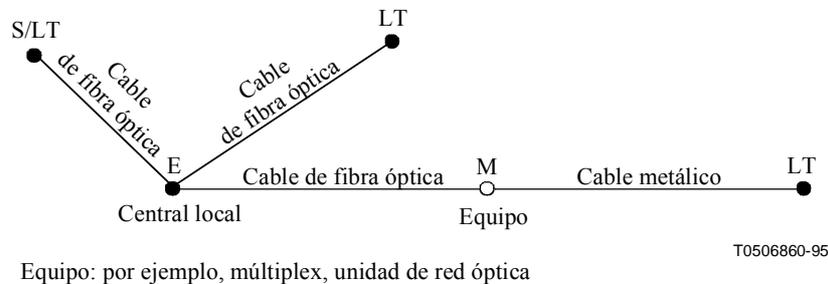


Figura 1/K.25 – Configuración de referencia

5 Características de construcción del cable

5.1 Consideraciones generales

La presente Recomendación se aplica a los tipos siguientes de cables de fibra óptica:

- tipo A: cable con núcleo dieléctrico, pero sin elementos metálicos (cable dieléctrico o sin partes metálicas);
- tipo B: cable con núcleo dieléctrico y cubierta o cubiertas metálicas – no existen elementos metálicos en el núcleo del cable que tiene una cubierta metálica (por ejemplo, la barrera antihumedad) o un hilo soporte metálico;
- tipo C: cable con elementos metálicos en el núcleo y con cubierta o cubiertas metálicas – existen elementos metálicos, como conductores o elementos de resistencia mecánica, en el núcleo del cable, que tiene uno o más cubiertas metálicas;
- tipo D: cable con elementos metálicos en el núcleo y sin cubierta metálica.

Para los tipos de cable B, C y D, se evaluará el posible valor de la corriente que provoca fallos (I_a), excepto en los cables que tienen más de una cubierta metálica.

5.2 Corriente que provoca fallos en un cable enterrado o cable aéreo con conexiones a tierra de la cubierta metálica

La corriente que provoca fallos (I_a) es el menor de los valores siguientes (véase la figura 2):

- dos veces la corriente de conexión (I_c), evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión (C.3);
- la corriente de prueba (I_t) evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes descrita en C.4 para cables enterrados o en C.5 para cables aéreos (véase Bibliografía [2]);
- para cables de tipo C, dos veces la corriente de ruptura en la cubierta (I_s) que circula por la cubierta metálica del cable (con o sin revestimiento aislante). Esta corriente se calcula aplicando el procedimiento del anexo B.

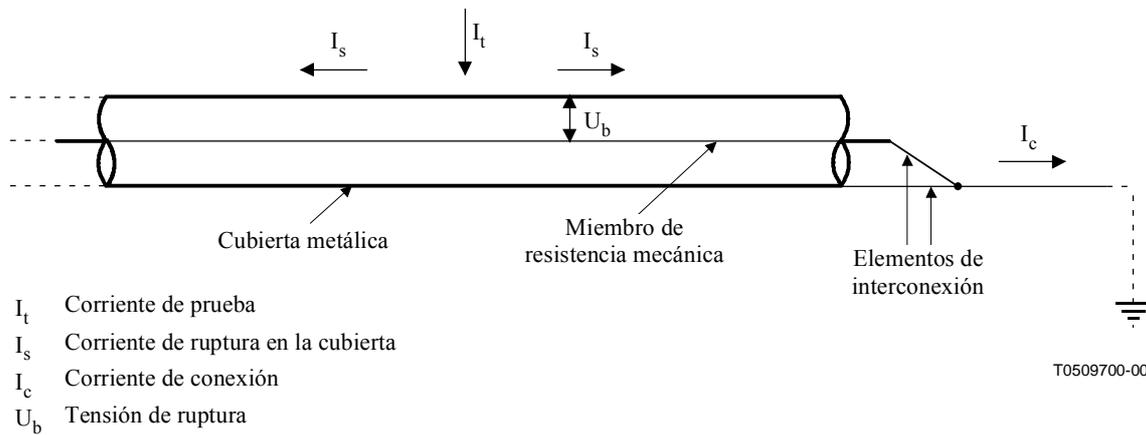


Figura 2/K.25 – Corrientes de descargas de rayos en un cable de fibra óptica

Entonces:

$$I_a = I_t \text{ si } I_t < 2I_s \text{ e } I_t < 2I_c \quad (1)$$

o:

$$I_a = 2I_s \text{ si } I_t > 2I_s \text{ e } I_s < I_c \quad (2)$$

o:

$$I_a = 2I_c \text{ si } I_t > 2I_c \text{ e } I_c < I_s \quad (3)$$

5.3 Corriente que provoca fallos en un cable aéreo sin conexiones a tierra de la cubierta metálica

Se supone que este tipo de cable está instalado en postes de madera sin hilos a tierra ni cables de riostra poco espaciados. La corriente que provoca fallos (I_a) es el menor de los valores siguientes (véase la figura 2):

- dos veces la corriente de conexión (I_c), evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión (C.3);
- la corriente de prueba (I_t) evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes descrita en C.5 para cables aéreos (véase Bibliografía [2]);
- para cables de tipo C, la corriente de descarga directa del rayo (J) que sacude a un cable aéreo y produce una descarga a tierra. Esta corriente se calcula aplicando el procedimiento del anexo B.

Entonces:

$$I_a = I_t \text{ si } I_t < J \text{ e } I_t < 2I_c \quad (4)$$

o:

$$I_a = J \text{ si } I_t > J \text{ y } J < 2I_c \quad (5)$$

o:

$$I_a = 2I_c \text{ si } I_t > 2I_c \text{ y } 2I_c < J \quad (6)$$

6 Necesidad de protección

La necesidad de protección de instalaciones de cables de fibra óptica contra el rayo depende de la frecuencia de fallos primarios (F_p) y de su frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a). La frecuencia de fallos primarios (F_p) viene dada por la ecuación siguiente:

$$F_p = F_{pb} + F_{pa} + F_{ps} \quad (7)$$

donde:

F_{pb} es la frecuencia de fallos primarios en los cables enterrados

F_{pa} es la frecuencia de fallos primarios en los cables aéreos

F_{ps} es la frecuencia de fallos primarios debido a las descargas directas del rayo en la estructura expuesta por donde entran los cables de fibra óptica

Si la frecuencia de fallos primarios (F_p) es mayor que la frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a), son necesarias medidas de protección para reducir F_p y minimizar el riesgo de fallos primarios (R_d).

El riesgo de fallos primarios se calcula por la ecuación siguiente (véase el apéndice II):

$$R_d = F_p \cdot \delta \quad (8)$$

donde δ es la cantidad relativa de las pérdidas previstas por fallo primario.

Por tanto:

$$R_d = F_{ps} \cdot \delta_s + (F_{pb} + F_{pa}) \cdot \delta_d \quad (9)$$

Cada operador de red debe definir la frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a) y el riesgo tolerable de fallos primarios (R_a). En el apéndice II se sugieren valores de F_a y R_a .

7 Medidas de protección

7.1 Consideraciones generales

Los elementos metálicos de un cable de fibra óptica deben ser continuos, es decir, deben estar conectados a través de todos los empalmes, regeneradores, etc., a lo largo del cable. Dichos elementos metálicos deben estar conectados a la barra de puesta a masa equipotencial (E.B.B., *equipotential bonding bar*), directamente o a través de un SPD, en los extremos del cable (véase la figura 3).

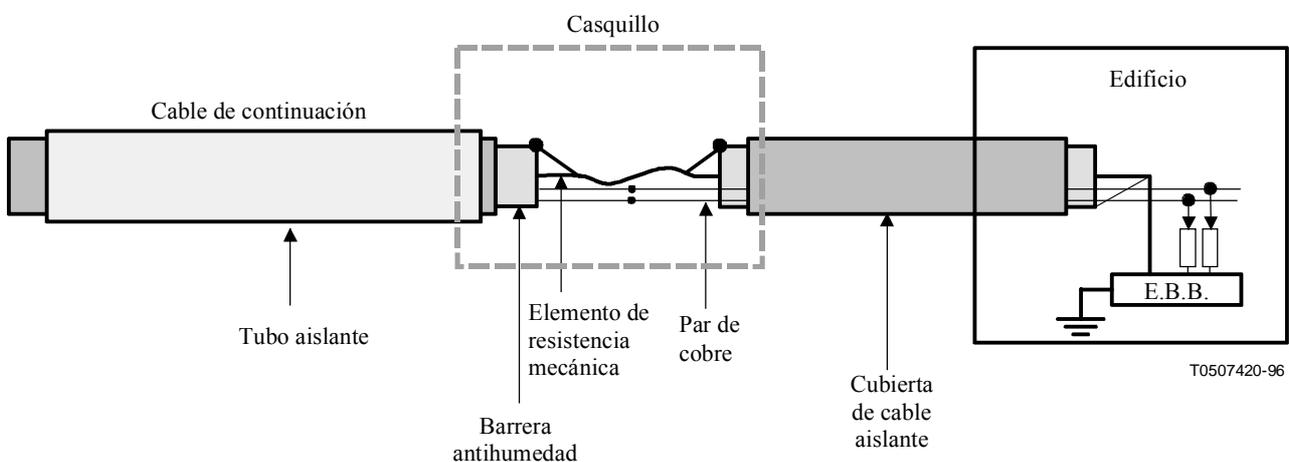


Figura 3/K.25 – Ejemplo de conexión de elementos metálicos

Si el edificio del abonado no cuenta con una E.B.B., los elementos metálicos del cable de fibra óptica se conectarán a una E.B.B. especial dentro de la terminación de la red óptica.

Para los cables de fibra óptica con elementos metálicos, se suelen considerar las siguientes medidas de protección:

- utilización de cables dieléctricos o sin partes metálicas;
- elección del tipo de cable para cables enterrados y aéreos;
- utilización de hilos pantalla para cables subterráneos;
- puesta a tierra de la cubierta metálica a lo largo de la ruta para cables aéreos (véase 5.2);
- redundancia de rutas para cables enterrados y aéreos;
- utilización de descargadores para proteger los pares metálicos de cables enterrados y aéreos.

NOTA 1 – Para la utilización de descargadores en pares metálicos, véase referencia [2].

NOTA 2 – No se considera la puesta a tierra de la cubierta metálica a lo largo de la ruta para cables enterrados, que tienen elementos metálicos en el núcleo del cable, ya que la eficacia de dicha medida de protección es insignificante con respecto a la reducción del número de fallos primarios.

NOTA 3 – Los cables que conducen a las estructuras expuestas pueden precisar medidas protectoras adicionales (véanse referencia [3] y Bibliografía [2]).

7.2 Cables dieléctricos o sin partes metálicas

La utilización de cables dieléctricos o sin partes metálicas evitará los daños provocados por las descargas de rayos en el cable.

NOTA 1 – Un cable aéreo no metálico no es directamente susceptible a daños causados por el rayo. De hecho, hasta ahora no se ha tenido conocimiento de tales daños.

NOTA 2 – En el caso de los cables enterrados, debe considerarse la disminución de la resistencia del cable a la penetración de la humedad y la dificultad de localizarlos durante las actividades ulteriores de mantenimiento. Además, los cables metálicos colocados en la misma zanja pueden recibir descargas directas de rayos y, por consiguiente, se podría destruir también el cable óptico (dichos daños son, hasta ahora, desconocidos). Puede aparecer el mismo tipo de problema cuando un cable sin partes metálicas está acompañado de un conductor metálico (utilizado para colocar el cable óptico).

7.3 Elección de las características del cable para instalaciones subterráneas y aéreas

Cada tipo de cable tiene su propio valor específico de corriente que provoca fallos (I_a), que se evalúa según lo indicado en la cláusula 5. La elección del tipo de cable implica un valor específico de corriente que provoca fallos (I_a) y cuanto mayor sea el valor de I_a , menor es la frecuencia de fallos primarios, como puede calcularse en el anexo A.

7.4 Utilización de hilo de blindaje en los cables enterrados

Puede reducirse la probabilidad de daños causado al cable subterráneo utilizando hilos de blindaje. Los hilos de blindaje interceptan una porción de la corriente de descarga reduciendo así la cantidad de descarga en el cable. Para hilos de blindaje instalados adecuadamente, el valor de factor de blindaje, indicado por η , implica que el $100\eta\%$ de la corriente de descarga circula por la cubierta del cable. Los valores del factor de blindaje pueden calcularse por el método descrito en el apéndice I.

La disminución de la frecuencia de fallos primarios (F_p) debida a la utilización de hilos de blindaje puede calcularse como sigue:

$$F_p = N_d \cdot p \left(\frac{I_a}{\eta} \right) \quad (10)$$

donde:

- N_d número anual medio previsto de descargas directas de rayo en el cable (véase anexo A);
- p probabilidad de que la corriente de cresta del rayo sea igual o mayor que el valor I_a/η (véase anexo A);
- I_a corriente de rayo que provoca fallos (véase cláusula 5);
- η factor de blindaje (véase apéndice I).

7.5 Redundancia de rutas

La disponibilidad total del servicio puede mejorarse mediante rutas redundantes utilizando una segunda ruta paralela que puede requerirse por otras razones, como es la necesidad de aumentar los medios. En ese caso, el método presentado en la Bibliografía [1] puede ayudar a decidir la distancia óptima de separación entre rutas con el fin de mejorar la disponibilidad total del servicio para cables enterrados y aéreos, respectivamente.

ANEXO A

Frecuencia de fallos primarios

A.1 Cable enterrado

La frecuencia de fallos primarios para cables enterrados (F_{pb}) se calcula por la siguiente ecuación:

$$F_{pb} = N_d \cdot p(I_a) \quad [\text{daños/año}] \quad (\text{A-1})$$

donde:

- p es la probabilidad de que la corriente de cresta del rayo sea igual o mayor que I_a , que se expresa por la ecuación siguiente:

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

donde:

$$a = 4,605 \quad \text{y} \quad b = 0,0117 \quad \text{para } i < 20 \text{ kA}$$

$$a = 5,063 \quad \text{y} \quad b = 0,0346 \quad \text{para } i \geq 20 \text{ kA}$$

I_a corriente que provoca fallos [kA];

N_d frecuencia de descargas directas de rayos, calculada por la ecuación siguiente:

$$N_d = K_d \cdot N_g \cdot K_e \cdot 2DL/1000 \quad [\text{descargas/año}] \quad (\text{A-3})$$

donde:

K_d es el factor de corrección de daños

NOTA – A fin de obtener una evaluación conservadora de la distancia de descarga, el factor de corrección de daños se hará igual a 2,5. En otro caso, se hará igual a 1.

N_g es la densidad de descargas de rayos a tierra expresada en términos de descargas a tierra por kilómetro cuadrado y año; si no se dispone del valor de N_g , puede

calcularse aplicando la siguiente relación (que varía con los cambios de las condiciones climáticas):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (\text{A-4})$$

donde:

T_d es el nivel cerámico de la región

K_b es el factor de entorno (véase apéndice III)

L es la longitud de la línea en km

D es la distancia de descarga, en metros, y se calcula por las ecuaciones siguientes:

$$D = 0,482 \rho^{1/2} \text{ [m]}; \text{ para } \rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-5})$$

$$D = 0,283 \rho^{1/2} \text{ [m]}; \text{ para } \rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-6})$$

$$D = 0,191 \rho^{1/2} + 2,91 \text{ [m]}; \text{ para } 100 \Omega \cdot \text{m} < \rho < 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (\text{A-7})$$

donde:

ρ es la resistividad del suelo en $\Omega \cdot \text{m}$, que puede hallarse a partir de los mapas de resistividad del suelo o medirse.

A.2 Cable aéreo

La frecuencia de descargas directas de rayos (N_d) para una longitud de cable aéreo (L) puede calcularse como sigue:

$$N_d = N_g \cdot A_e \quad (\text{A-8})$$

$$A_e = 6 \cdot K_e \cdot H \cdot L / 1000 \quad (\text{A-9})$$

donde:

A_e zona colectora efectiva del rayo en km^2

K_e factor de entorno (véase apéndice III)

H altura de la línea en metros

La F_{pa} se evalúa multiplicando la frecuencia de descargas directas de rayos (N_d) por la probabilidad de la corriente que provoca fallos (I_a) en los cables aéreos:

$$F_{pa} = N_d \cdot p(I_a) \text{ fallos/primarios} \quad (\text{A-10})$$

donde:

p probabilidad de que la corriente de cresta del rayo sea igual o mayor que I_a [véase ecuación (A-2)];

I_a corriente que provoca fallos [kA].

A.3 Cables que entran en una estructura expuesta a descargas directas de rayos

La corriente de la descarga directa de un rayo en una estructura expuesta atraviesa el sistema de puesta a tierra de la estructura y los servicios que entran en la propia estructura. Por lo tanto, una parte de la corriente de descarga entra en la conexión del cable y en la cubierta del cable de fibra óptica.

Esta corriente puede causar fallos primarios cuando es superior a la corriente de ruptura en la cubierta (I_s) o a la corriente de conexión (I_c).

En consecuencia, la frecuencia de fallos primarios (F_{ps}) se calcula por la siguiente ecuación:

$$F_{ps} = N_d \cdot p(I) \quad (A-11)$$

donde:

N_d es la frecuencia de descargas directas de rayos en la estructura expuesta y en las estructuras adyacentes, y se calcula utilizando la referencia [3];

I es el valor de cresta de la corriente del rayo en la estructura que causa una corriente de ruptura en la cubierta (I_s) o la corriente de conexión (I_c) en la cubierta del cable o en la conexión del cable respectivamente. Esta corriente de descarga (I) se calcula suponiendo que el 50% de la corriente del rayo que golpea la estructura expuesta atraviesa el sistema de puesta a tierra de la estructura y el 50% restante de la corriente se divide entre los diversos servicios que entran en la estructura;

$p(I)$ es la probabilidad del valor de cresta de la corriente del rayo en la estructura expuesta, evaluada por la ecuación (A-2).

ANEXO B

Corriente de ruptura en la cubierta

B.1 Cable enterrado

La corriente de ruptura en la cubierta (I_s) del cable con elementos metálicos en el núcleo y con una cubierta metálica, con o sin revestimiento protector aislante, puede estimarse por la siguiente ecuación:

$$I_s \cong U_b / (K \cdot R \cdot \rho^{1/2}) \text{ [kA]} \quad (B-1)$$

donde:

$K = 8 \text{ [(m}/\Omega)^{0,5}]$ es el factor de forma de onda para la corriente de rayo (onda de 10/350 μ s)

R es la resistencia de la cubierta por unidad de longitud [Ω /km]

U_b es la tensión de ruptura [V] del cable de fibra óptica evaluada con la prueba indicada en C.2

ρ es la resistividad del suelo (Ω .m)

B.2 Cable aéreo

Pueden producirse fallos primarios en cables de fibra óptica de rutas aéreas cuando existe metal en la cubierta y en el núcleo del cable. La corriente de rayo en la cubierta puede causar ruptura entre la cubierta y el núcleo. Es posible que se produzcan daños si las fibras están en el trayecto del arco resultante o próximas al mismo. La metodología indicada a continuación supone que se conoce la tensión de ruptura entre el núcleo y la cubierta metálica.

B.2.1 Cable aéreo sin conexiones a tierra de la cubierta metálica

Cuando el rayo golpea un cable aéreo, un gran porcentaje de corriente de rayo (J) va en arco a tierra.

La corriente de ruptura en la cubierta (I_s) se calcula como sigue, suponiendo que el cable es largo (véase Bibliografía [3]):

$$I_s \cong \frac{U_b}{\Phi \cdot R} \quad [\text{kA}] \quad (\text{B-2})$$

donde:

$\Phi = 2000$ [m] es el factor de forma

La corriente de rayo (J) puede calcularse con la siguiente ecuación (véase Bibliografía [4]):

$$J = 4 \frac{I_s^2}{k} \text{ J} \quad (\text{B-3})$$

donde:

$$k = rE_o / S^2$$

E_o es el gradiente de tensión de ruptura en la superficie del suelo, que es aproximadamente 250 kV/m para $\rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m}$ y 500 kV/m para $\rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m}$

S es la impedancia de sobrecarga de la cubierta (aproximadamente 400 Ω para un cable aéreo; véase en las Bibliografías [1] y [4] una evaluación más precisa)

B.2.2 Cable aéreo con conexiones a tierra de la cubierta metálica

La corriente de ruptura en la cubierta (I_s) para una determinada tensión de ruptura, se calcula por la siguiente ecuación:

$$I_s \cong \frac{U_b}{K \cdot R \cdot \rho_e^{1/2}} \quad (\text{B-4})$$

donde:

ρ_e es la resistividad a tierra efectiva en $\Omega \cdot \text{m}$, que se define por:

$$\rho_e = \frac{\pi d \cdot R_g}{\ln\left(2 \cdot \frac{H}{a}\right)} \quad (\text{B-5})$$

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 Ω

ANEXO C

Pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes

C.1 Consideraciones generales

Las pruebas de las que se informa en este anexo son convenientes sólo para la evaluación de riesgos asociados con el rayo en instalaciones de fibra óptica, y no son aplicables para la calificación de un diseño de cable. No se repetirán a menos que cambien apreciablemente las características de construcción del 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.

El generador de tensión para la prueba de la tensión de ruptura tendrá una tensión de circuito abierto con una forma de onda de 1,2/50 μ s. El generador de corriente para la prueba de inmunidad de los cables ópticos a las sobrecorrientes está en estudio. Se sugieren las siguientes forma de onda de corriente, medidas con la muestra en su sitio:

- corriente de onda exponencial doble con un tiempo de establecimiento de 10 μ s y un tiempo de caída de semiamplitud de 350 μ s (onda de 10/350 μ s);
- corriente de oscilación amortiguada con un tiempo máximo de subida hasta el valor de cresta de 15 μ s y una frecuencia máxima de 30 kHz. El tiempo de subida hasta el valor de semiamplitud de su envolvente será de 40 y 70 μ s.

Para las pruebas descritas en C.3, C.4 y C.5, la aparición de un fallo primario se detecta por al menos una de las siguientes causas:

- rotura de una o más fibras ópticas;
- aumento inaceptable de la atenuación de la fibra óptica;
- interrupción en la alimentación de energía distante, si el equipo es alimentado por conductores metálicos dentro del cable óptico.

C.2 Prueba de tensión de ruptura

En esta prueba se utilizará una muestra de cable de 5 m de longitud. Se interconectan eléctricamente los componentes conductores dentro del núcleo del cable para formar un terminal. 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. La corriente de prueba se mide durante la prueba. Después de aplicar tensiones de prueba de amplitudes ascendentes, la prueba permite determinar el valor umbral de sobretensión que causa la ruptura.

C.3 Prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión

En esta prueba se utilizará una muestra de cable de 1 m de longitud. Se interconectan eléctricamente en un extremo del cable las cubierta(s) y elemento(s) metálico(s) de resistencia mecánica del cable para formar un terminal. En el extremo opuesto de la muestra de cable, se conecta de la misma forma otro terminal. Se coloca un generador de sobrecorrientes entre los dos terminales (figura C.1). La corriente de prueba se mide durante la prueba. Después de aplicar corrientes de prueba de amplitudes ascendentes, se prueba la muestra para determinar el deterioro de sus propiedades de transmisión, según lo indicado en C.1. Esta prueba permite determinar el valor umbral de sobrecorriente que causa el fallo primario.

C.4 Prueba de la caja con arena para cables enterrados

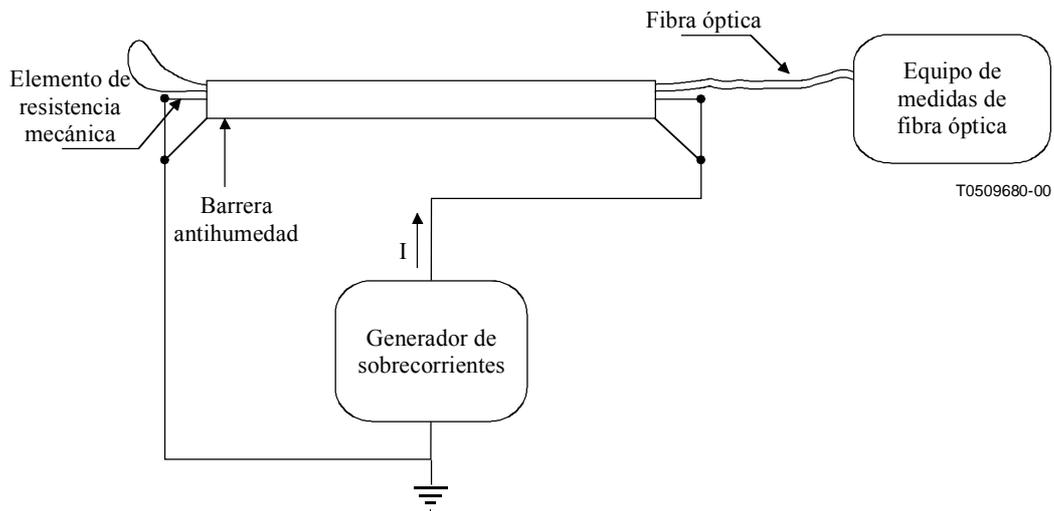
Se entierra una muestra de cable de 1 metro de longitud en arena húmeda contenida en una caja rígida no conductora, de una longitud mínima de 0,75 m en todas sus dimensiones lineales internas (figura C.2). La caja tiene dos agujeros de aproximadamente 25 mm de diámetro en el fondo para el drenaje del agua. La arena, de sílice de tamiz 20-40, habrá sido saturada durante un máximo de 8 horas y drenada durante por lo menos 5 minutos antes de las pruebas. Se introduce la muestra de cable en la caja de prueba y se apisona 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 ± 1 mm de la muestra. Se interconectan eléctricamente las cubierta(s) y elemento(s) metálico(s) de resistencia mecánica del cable para formar un solo terminal y se coloca un generador de corriente entre dicho terminal y el electrodo de descarga (figura C.2). A fin de 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 o la barrera antihumedad del cable frente al electrodo de descarga. Si la tensión del generador de prueba no puede producir una descarga a través del intervalo de aire, se conectará un cable fino al electrodo de descarga con la cubierta. La corriente de prueba se medirá durante la prueba. Después de aplicar corrientes de descarga de amplitudes ascendentes, se prueba la muestra para determinar el deterioro de sus propiedades de transmisión, según lo indicado en C.1. Esta prueba permite determinar el valor umbral de sobrecorriente que causa el fallo primario.

C.5 Prueba para cables aéreos

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 ± 1 mm, se coloca un electrodo de descarga. Se conectan eléctricamente juntos las cubierta(s) y elemento(s) metálico(s) de resistencia mecánica del cable para formar un solo terminal, y se coloca un generador de corriente de prueba entre dicho terminal y el electrodo de descarga.

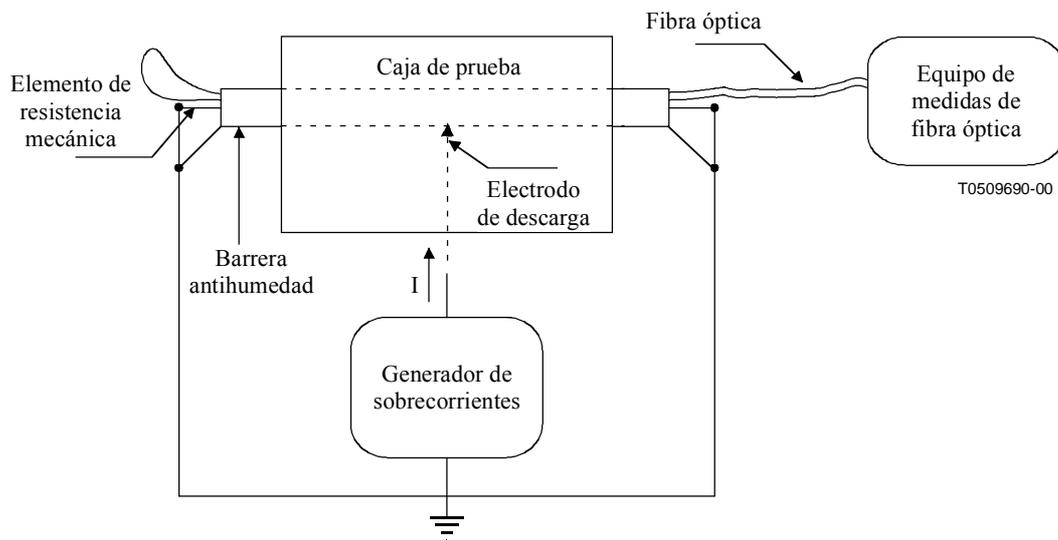
A fin de que la corriente de prueba atraviese la muestra, se practicará una pequeña hendidura u orificio con un instrumento de 1 mm de diámetro en los aislamientos que recubren la cubierta metálica exterior frente al electrodo de descarga. Si la tensión del generador de prueba no puede producir una descarga a través del intervalo de aire, se conectará un cable fino al electrodo de descarga con la cubierta metálica.

La corriente de prueba se mide durante la prueba. Después de aplicar corrientes de descarga de amplitudes descendentes, se prueba la muestra para determinar el deterioro de sus propiedades de transmisión, según lo indicado en C.1. Esta prueba permite identificar el valor umbral de sobrecorriente que causa el fallo primario.



NOTA – Después de la aplicación de la corriente de pruebas deberían probarse todos los cables de fibra óptica.

Figura C.1/K.25 – Diagrama de la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes



NOTA – Después de la aplicación de la corriente de pruebas deberían probarse todos los cables de fibra óptica.

Figura C.2/K.25 – Diagrama de la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes

APÉNDICE I

Factor de blindaje

I.1 Factor de blindaje para un hilo de blindaje

Cuando hay solamente un hilo de blindaje, el factor de blindaje viene dado por:

$$\eta = \ln(x/s) / \ln(x^2/s r) \quad (\text{I-1})$$

donde [véase la figura I.1 (a)]:

- x distancia entre los ejes del cable y el hilo de blindaje
- r radio de la cubierta
- s radio del hilo de blindaje

Los cuadros I.1 e I.2 dan los valores del factor de blindaje para diferentes tamaños de los conductores y el espaciamiento. Puede desprenderse de estos cuadros que el factor de blindaje para un hilo blindaje está en la gama de 0,5 a 0,7. Hay que señalar que un hilo de blindaje tendido sobre un cable enterrado tiene también la función de proteger el cable contra daños mecánicos causados por excavaciones accidentales.

Cuadro I.1/K.25 – Factor de blindaje para r = 10 mm

x(m)	s = 2 mm	s = 3 mm	s = 5 mm	s = 8 mm	s = 12 mm
0,15	0,61	0,59	0,56	0,52	0,48
0,25	0,60	0,58	0,55	0,52	0,49
0,50	0,59	0,57	0,54	0,51	0,49
1,00	0,57	0,56	0,53	0,51	0,49

Cuadro I.2/K.25 – Factor de blindaje para r = 20 mm

x(m)	s = 2 mm	s = 3 mm	s = 5 mm	s = 8 mm	s = 12 mm
0,15	0,68	0,65	0,62	0,59	0,55
0,25	0,65	0,63	0,60	0,57	0,54
0,50	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54
1,00	0,61	0,60	0,58	0,55	0,53

I.2 Factor de blindaje para múltiples hilos de blindaje

Cuando aumenta el número de hilos de blindaje, las ecuaciones se hacen más complejas, por lo que es más útil calcularlas a fin de establecer algunos cuadros con valores prácticos. El radio del cable y del hilo de blindaje se mantienen con constantes con valores r = 10 mm y s = 5 mm. El efecto de las variaciones en estos parámetros es pequeño, y puede estimarse por los cuadros I.1 e I.2. El cuadro I.3 muestra valores del factor de blindaje para dos hilos de blindaje dispuestos en un círculo alrededor del cable, donde el ángulo g es con respecto a la vertical [véase figura I.1 (b)]. Puede comprenderse que la distancia x entre los hilos de blindaje y el cable tiene poco efecto en el factor de blindaje. Para los otros cuadros, este valor se mantiene constante en x = 0,25 m.

Cuadro I.3/K.25 – Factor de blindaje para dos hilos dispuestos en círculo alrededor del cable

x(m)	g = 30°	g = 45°	g = 60°	g = 90°
0,15	0,38	0,36	0,34	0,33
0,25	0,38	0,35	0,34	0,33
0,50	0,37	0,35	0,34	0,33
1,00	0,37	0,35	0,34	0,33

Se ha efectuado el mismo cálculo para tres hilos dispuestos en círculo alrededor del cable, donde el ángulo g es con respecto a la vertical [véase figura I.1 (c)]. Los valores se muestran en el cuadro I.4, donde x = 0,25 m.

Cuadro I.4/K.25 – Factor de blindaje para tres hilos dispuestos en círculo alrededor del cable

g = 30°	g = 60°	g = 90°	g = 120°
0,33	0,26	0,23	0,22

En el cuadro I.5 se muestran los resultados para múltiples hilos dispuestos simétricamente en círculo alrededor del cable [véanse figuras I.1 (d), I.1 (e) e I.1 (f)]. La variable n indica el número de hilos y x = 0,25 m.

Cuadro I.5/K.25 – Factor de blindaje para n hilos dispuestos en círculo alrededor del cable

n = 4	n = 6	n = 8
0,16	0,09	0,06

I.3 Longitud mínima de los hilos de blindaje enterrados

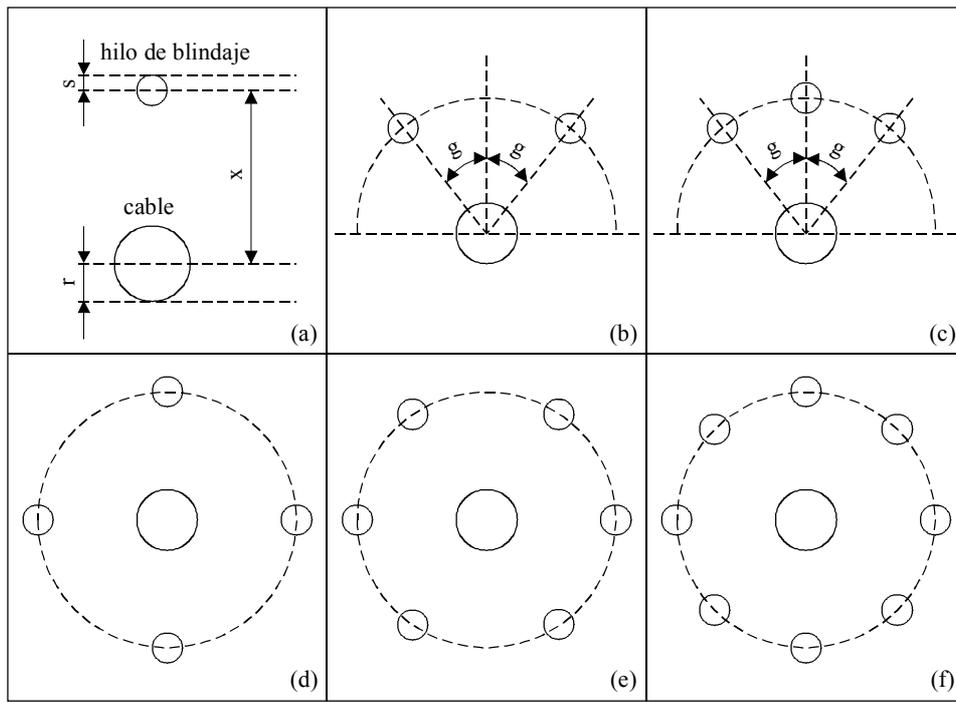
A fin de proteger una línea de telecomunicación en un entorno expuesto, un hilo de blindaje enterrado seguirá al cable en toda la extensión de la sección expuesta y continuará también durante una longitud Y más allá de esta sección. Se aplica el mismo procedimiento para la protección de líneas que entran en estructuras expuestas, donde el hilo de blindaje seguirá la ruta del cable a partir de la estructura expuesta durante una longitud Y. Naturalmente, los hilos de blindaje se pondrán a masa con la cubierta del cable y el sistema de puesta a tierra de la estructura.

La longitud Y puede evaluarse por la ecuación (I-2):

$$Y \geq 5 \cdot (\rho)^{1/2} \quad [\text{m}] \quad (\text{I-2})$$

donde:

ρ = resistividad del suelo en $\Omega \cdot \text{m}$.



T0508870-99

Figura I.1/K.25 – Configuración de los hilos de blindaje

APÉNDICE II

Frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a)

Los daños causados por las descargas de rayo en instalaciones de fibra óptica pueden ocasionar interrupciones inaceptables de servicios al público. En ese caso, habría que decidir si poner en práctica o no medidas de protección mediante una comparación del valor real de la frecuencia de fallos primarios (F_p) ocasionados en la instalación de fibra óptica con el valor límite de la frecuencia tolerable de fallos primarios (F_a) establecida por cada operador de red.

Se puede calcular el valor F_a con la siguiente ecuación:

$$F_a = \frac{R_a}{\delta} \quad (\text{II-1})$$

donde:

R_a riesgo tolerable de fallos primarios

δ cantidad relativa de las pérdidas previstas por daño

Se sugieren los siguientes valores de R_a y δ :

$$\delta = 10^{-3}$$

$$R_a = 10^{-4}$$

Por lo tanto:

$$F_a = 0,1$$

APÉNDICE III

Factor de entorno (K_e)

La evaluación de K_e se efectuará según los parámetros de construcciones típicas de la región considerada:

- Zona urbana con edificios altos (por encima de 6 pisos): $K_e = 0,01$
- Zona urbana con edificios de altura media (entre 3 y 6 pisos): $K_e = 0,1$
- Zona suburbana con casas (1 ó 2 pisos): $K_e = 0,5$
- Zona rural sin construcciones (terreno llano): $K_e = 1$
- Zona rural sin construcciones (en un monte): $K_e = 2$

APÉNDICE IV

Bibliografía

- [1] *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación. Capítulo 9: Evaluación de los daños producidos por el rayo en los cables de fibra óptica*, UIT, 1994.
- [2] *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación*, UIT, 1974 y 1978.
- [3] UNGAR (S.G.): Effects of lightning punctures on the core-shield voltage of buried cable, *The Bell System Technical Journal*, Vol. 59, N.º 3, marzo de 1980.
- [4] SUNDE (E.): Earth conduction effects in transmission system, *Dover Publications, Inc.*, Nueva York.
- [5] BENDAYAN (J.): Câbles résistant aux dommages causés par la foudre, *Cables & Transmission*, octubre de 1972.

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	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

18296

Impreso en Suiza
Ginebra, 2000