

Reemplazada por una versión más reciente



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.25

(05/96)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

Protección de los cables de fibra óptica

Recomendación UIT-T K.25

Reemplazada por una versión más reciente

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

Reemplazada por una versión más reciente

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.25 ha sido revisada por la Comisión de Estudio 5 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 8 de mayo 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 es parte integrante de la misma;
 - el *apéndice* a una Recomendación no es 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.

Reemplazada por una versión más reciente

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Campo de aplicación y objeto..... 1
2	Referencias 1
3	Definiciones 1
4	Configuración de referencia..... 3
5	Características de construcción del cable y pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes 3
5.1	Características de construcción del cable 3
5.2	Prueba de inmunidad a las sobrecorrientes..... 8
6	Necesidad de protección 10
6.1	Consideraciones generales..... 10
6.2	Frecuencia de fallos primarios o tasa anual de daños para cables enterrados..... 10
6.3	Frecuencia de fallos primarios o tasa anual de daños de cables aéreos 12
6.4	Frecuencia de fallos primarios debidos a descargas directas del rayo en la estructura expuesta por donde entran los cables de fibra óptica..... 12
7	Medidas de protección 13
7.1	Consideraciones generales..... 13
7.2	Cables dieléctricos o sin partes metálicas..... 13
7.3	Elección de las características del cable para instalaciones subterráneas y aéreas 14
7.4	Utilización de hilos de apantallamiento para cables enterrados 14
7.5	Redundancia de rutas..... 14
Apéndice I – Valores de factor de apantallamiento..... 15	
I.1	Definición del factor de apantallamiento..... 15
I.2	Factor de apantallamiento con un hilo pantalla 15
I.3	Expresión del factor de apantallamiento con dos hilos pantalla dispuestos simétricamente con respecto al eje del cable..... 16
I.4	Ejemplo de aplicación 17
Apéndice II – Frecuencia aceptada de fallos primarios (N_a)..... 17	

Reemplazada por una versión más reciente

Recomendación K.25

PROTECCIÓN DE LOS CABLES DE FIBRA ÓPTICA

(Melbourne, 1988, revisada en 1996)

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 (3.1) 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 (3.5).

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

En el Apéndice II se indica la frecuencia aceptada de fallos primarios.

En esta Recomendación no se contemplan los fallos secundarios (3.2).

2 Referencias

Las Recomendaciones y demás referencias siguientes 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 demás referencias son objeto de revisiones, por lo que se preconiza que todos los usuarios de la presente Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y demás referencias citadas a continuación. Se publica regularmente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- [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] Recomendación K.29 del CCITT (1992), *Sistemas de protección coordinada para cables de telecomunicación subterráneos*.
- [4] 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, 1980.
- [5] Recomendación UIT-T K.11 (1993), *Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes*.
- [6] SUNDE (E.): Earth conduction effects in transmission system, *Dover Publications, Inc.*, Nueva York
- [7] BENDAYAN (J.): Cables resistant aux dommages causes par la foudre, *Cables & Transmission*, octubre, 1972.
- [8] Recomendación UIT-T K.39 (1996), *Evaluación del riesgo de daños en los emplazamientos de telecomunicación debido a descargas eléctricas*.

3 Definiciones

A los efectos de esta Recomendación, se aplican las definiciones siguientes:

3.1 fallos primarios: Los fallos primarios que se producen en el cable de fibra óptica son los que causan la interrupción del servicio (ruptura de una o más fibras ópticas), un aumento inaceptable de la atenuación de la fibra óptica o una interrupción en la alimentación de energía distante, si el equipo es alimentado por conductores metálicos dentro del cable óptico.

Reemplazada por una versión más reciente

Son también fallos primarios los daños provocados al cable, tales como la destrucción de la cubierta protectora, la barrera antihumedad, los elementos de interconexión y la gelatina protectora, los cuales, debido a la acción de otros mecanismos que actúan en la zona dañada, provocarán un aumento inaceptable de la atenuación de la fibra.

3.2 fallos secundarios: Fallos secundarios en el cable de fibra óptica son daños causados al cable, tales como la perforación de la cubierta protectora de plástico (pequeñas picaduras) y, en ciertos casos, también la perforación del revestimiento metálico, que no causan fallos primarios.

3.3 frecuencia de fallos primarios (N_p) o tasa anual de daños (ADR, *annual damage rate*): Número medio anual de fallos primarios previstos en una instalación de fibra óptica debido a descargas directas de rayos.

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

3.5 frecuencia aceptada de fallos primarios (N_a): Valor máximo de la frecuencia anual media prevista de fallos primarios en una instalación de fibra óptica que no requiere medios de protección adicionales debido a descargas directas de rayos.

3.6 riesgo aceptado de fallos primarios (R_a): Nivel máximo aceptado del riesgo de fallos primarios (R_d) debido a descargas directas de rayos.

3.7 descarga directa de rayo: Descarga de un rayo en el cable aéreo o en la superficie de la tierra a una distancia inferior a la distancia equivalente de formación de arco (D) con relación al cable enterrado.

3.8 frecuencia de descargas directas de rayo (N_d): Número anual medio previsto de descargas directas de rayo en una instalación de fibra óptica.

3.9 distancia equivalente de formación de arco (D): Distancia media (con relación al cable enterrado) a la que un rayo puede formar un arco hasta dicho cable.

3.10 corriente de rayo 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.

3.11 corriente de ruptura en el revestimiento (I_s): Corriente que circula en el revestimiento metálico y causa tensiones de ruptura entre elementos metálicos dentro del núcleo del cable y el revestimiento metálico.

3.12 corriente de conexión (I_c): Valor mínimo de la corriente del revestimiento, que causa fallos primarios, evaluado mediante las pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión (5.2.1).

3.13 elementos de interconexión: Elementos metálicos que conectan las partes metálicas del cable de fibra óptica con las uniones y los extremos del cable.

3.14 corriente de prueba (I_t): Corriente que causa fallos primarios y que se evalúa mediante las pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes descritas en 5.2.2 ó 5.2.3 para cables enterrados o aéreos, respectivamente.

3.15 corriente de impulso (I_p): Corriente que ha de utilizarse en la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los cables de fibra óptica. El generador de prueba de esta corriente está siendo estudiado por el TC 81 de la CEI.

NOTA – A la espera de que el TC 81 de la CEI adopte una decisión sobre el generador de prueba, se proporciona información sobre las corrientes de prueba utilizadas en algunos países:

- 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 40-70 μ s. Estos valores se aplican a las ondas medidas con la muestra en su sitio.

3.16 tensión de ruptura (U_b): Tensión de ruptura de impulsos entre los componentes metálicos y el revestimiento del cable óptico.

3.17 factor de corrección de protección (K_d): Valor del factor de corrección que permite una evaluación conservadora de la frecuencia de los fallos primarios.

3.18 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.

3.19 corriente de descarga directa del rayo en los cables aéreos (J): Corriente mínima producida por el rayo que toca a un cable aéreo y causa una descarga a tierra.

Reemplazada por una versión más reciente

4 Configuración de referencia

La Figura 1 representa la configuración de referencia para las instalaciones de fibra óptica, donde se muestran las conexiones de cables de fibra óptica entre dos centrales, entre central y abonado y entre central 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 Recomendación K.11 «Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes» [5].

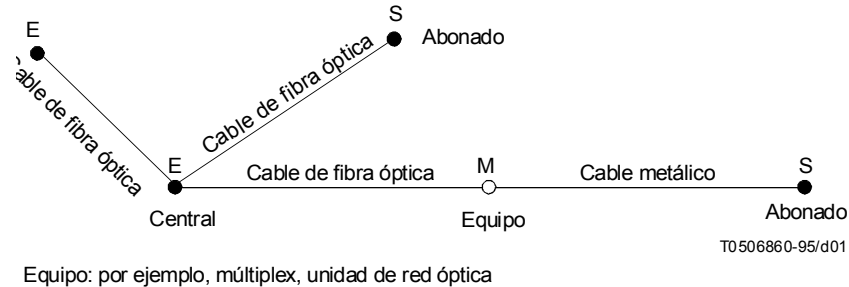


FIGURA 1/K.25
Configuración de referencia

5 Características de construcción del cable y pruebas de inmunidad a las sobrecorrientes

5.1 Características de construcción del cable

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

- cable dieléctrico o sin partes metálicas: no existen elementos metálicos en el cable;
- cable con núcleo dieléctrico y revestimiento o revestimientos metálicos: no existen elementos metálicos en el núcleo del cable que tiene un revestimiento metálico (por ejemplo, la barrera antihumedad) o un cable soporte metálico;
- cable con elementos metálicos en el núcleo y con o sin revestimiento o revestimientos metálicos: existen elementos metálicos, como conductores o elementos resistentes, en el núcleo del cable, que tiene uno o más revestimientos metálicos.

Para cada tipo de cable, excepto para el cable únicamente dieléctrico, se evaluará el posible valor de la corriente del rayo que provoca fallos, I_a .

La corriente, I_a , es el valor más bajo entre los siguientes valores (Figura 2):

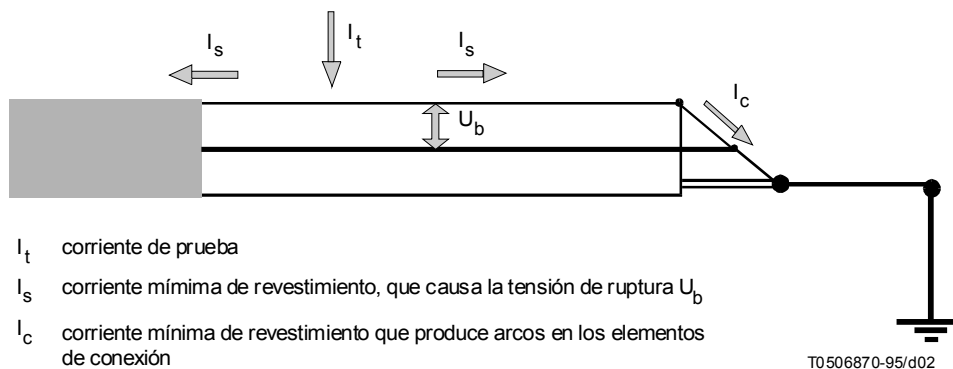


FIGURA 2/K.25
Corrientes de conector, I_c , y de revestimiento, I_s

Reemplazada por una versión más reciente

a) Cables enterrados

- dos veces la corriente de conexión, I_c , evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión (5.2.2);
- corriente de prueba, I_t , evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes descrita en 5.2.3 para cables subterráneos [2];
- dos veces la corriente de ruptura en el revestimiento, I_s , que circula en el revestimiento del cable, y causa tensión de ruptura entre los elementos metálicos dentro del núcleo del cable y el revestimiento metálico; el valor de la corriente del revestimiento, I_s , del cable con elementos metálicos en el núcleo y con revestimiento o revestimientos metálicos, con o sin revestimiento protector aislante, puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

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

donde:

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

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

U_b es la tensión de ruptura $[\text{V}]$ del cable de fibra óptica evaluada con la prueba indicada en 5.2.1;

ρ es la resistividad del suelo $(\Omega \cdot \text{m})$.

b) Cables aéreos

- dos veces la corriente del conector, I_c , evaluada mediante la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión (5.2.2);
- la corriente de prueba, I_t , evaluada con la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes descrita en 5.2.4 para cables aéreos [2].

b1) Cable aéreo sin conexiones a tierra del revestimiento metálico

- la corriente directa de rayo, J , (3.19) que golpea el cable aéreo causando, como consecuencia de la tensión de descarga en un poste, un gran porcentaje de corriente de rayo a tierra y una corriente de ruptura en el revestimiento, I_s .

La corriente de ruptura en el revestimiento, I_s , se calcula como sigue (suponiendo que el cable es largo) [6]:

$$I_s \cong U_b / (250 K \cdot R) \quad [\text{kA}] \quad (2)$$

La corriente de rayo, J , se puede calcular con la siguiente ecuación [6]:

$$J = 4 I_s^2 / k \quad (3)$$

donde:

$$k = \rho E_0 / S^2$$

E_0 es el gradiente de tensión de ruptura en la superficie del suelo y es aproximadamente de 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 descarga del revestimiento [1] y [6].

b2) Cable aéreo con conexiones a tierra del revestimiento metálico

- dos veces la corriente de ruptura en el revestimiento, I_s , que, en este caso, se puede calcular a partir de la siguiente ecuación (suponiendo que el cable es largo):

$$I_s \cong U_b / (K \cdot R \cdot \sqrt{\rho_e}) \quad (4)$$

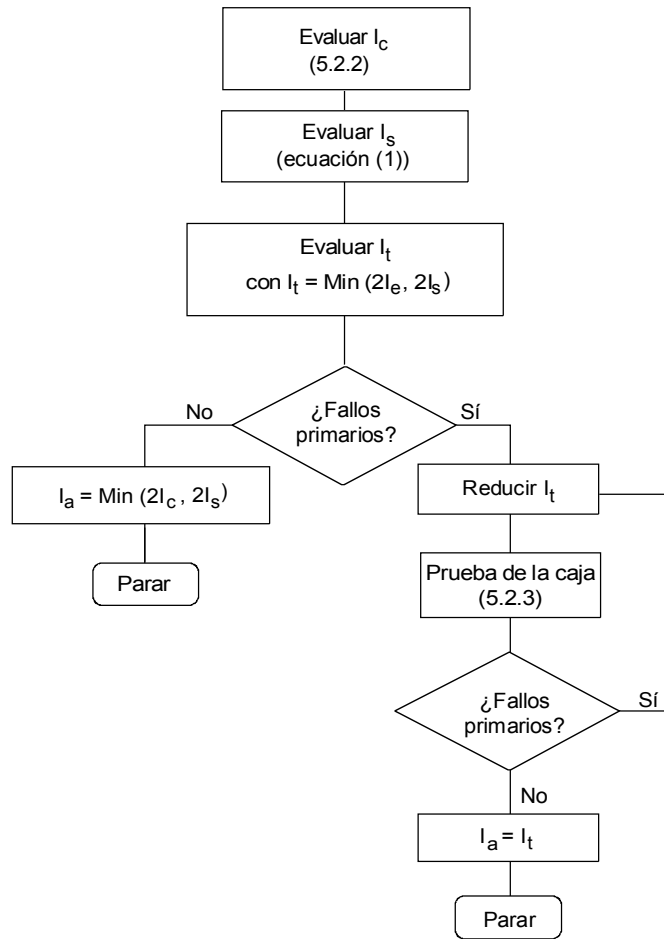
donde:

ρ_e es la resistividad a tierra efectiva $(\Omega \cdot \text{m})$, y se calcula con la ecuación (11) de [1].

Reemplazada por una versión más reciente

Para determinar la corriente de rayo que provoca fallos, I_a , se sugiere el procedimiento siguiente:

a) *Cables enterrados* (Figura 3)



T0506880-95/d03

FIGURA 3/K.25

Procedimiento para determinar la corriente de rayo que provoca fallos en cables enterrados

- 1) evaluar la corriente del conector, I_c , y la corriente de ruptura, I_s ;
- 2) utilizar el valor más bajo entre $2I_c$ y $2I_s$ como valor de corriente de cresta en la prueba descrita en 5.2.3 para cables enterrados [2]:

$$I_t = 2I_c \quad \text{o} \quad I_t = 2I_s$$

- 3) si no se producen fallos primarios durante la prueba descrita en 5.2.3, la corriente de rayo que provoca fallos es el valor más bajo entre $2I_c$ y $2I_s$:

$$I_a = 2I_c \quad \text{o} \quad I_a = 2I_s$$

si se producen fallos primarios durante la prueba, se reducirá la corriente de cresta I_t para determinar la corriente de cresta mínima que causa fallos primarios; este nuevo valor de I_t será la corriente de rayo que provoca fallos:

$$I_a = I_t$$

Reemplazada por una versión más reciente

entonces:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (5)$$

o:

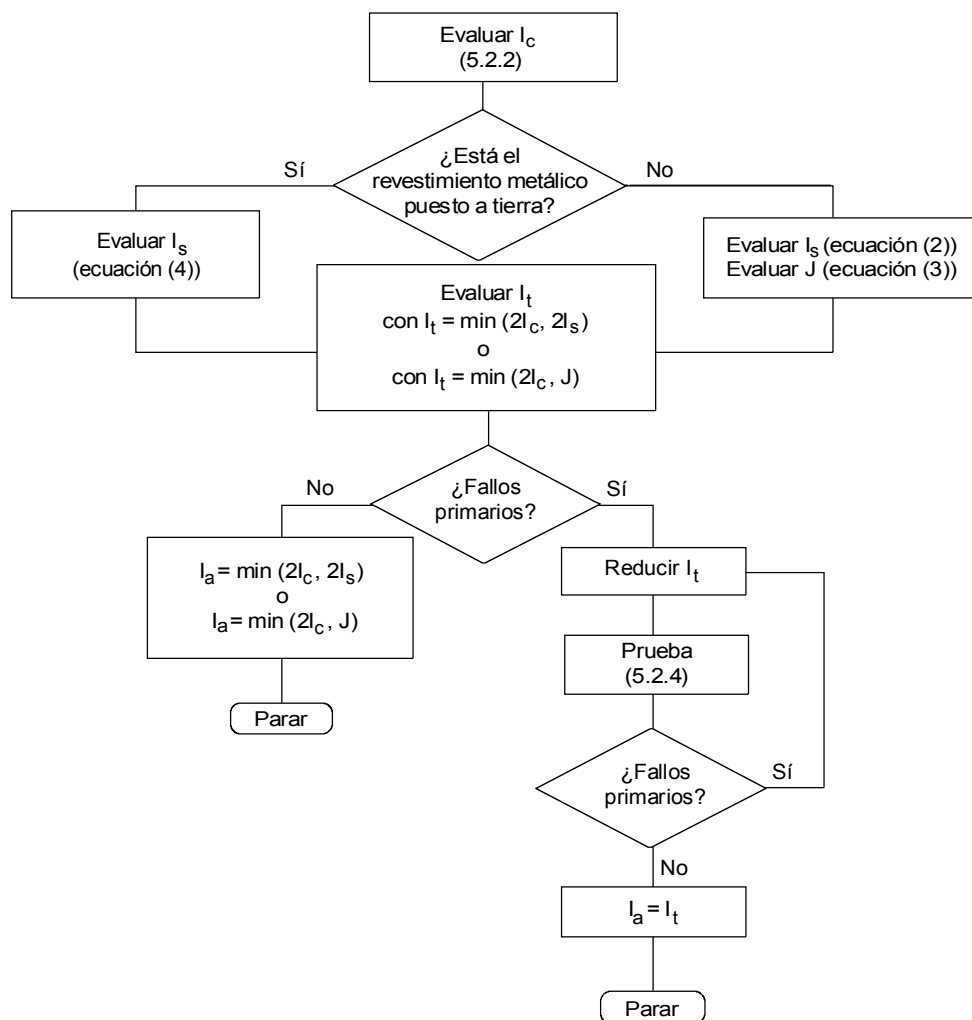
$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (6)$$

o:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (7)$$

b) *Cables aéreos*

b1) *Cables aéreos sin conexiones a tierra del revestimiento metálico* (Figura 4)



T0506890-95/d04

FIGURA 4/K.25

Procedimiento para determinar la corriente de rayo que provoca fallos en cables aéreos

Reemplazada por una versión más reciente

- 1) Evaluar la corriente del conector, I_c , y la corriente de ruptura, I_s , con la ecuación (2);
- 2) utilizar el valor más bajo entre $2I_c$ y J , este último calculado con la ecuación (3), como valor de cresta de corriente en la prueba descrita en 5.2.4 para cables aéreos:

$$I_t = 2I_c \quad \text{o} \quad I_t = J$$

- 3) si no se producen fallos primarios durante la prueba descrita en 5.2.4, la corriente de rayo que provoca fallos es el valor más bajo entre $2I_c$ y J :

$$I_a = 2I_c \quad \text{o} \quad I_a = J$$

si durante la prueba se producen fallos primarios, se reducirá la corriente de cresta I_t para determinar la corriente de cresta mínima que causa fallos primarios; este nuevo valor de I_t será la corriente de rayo que provoca fallos:

$$I_a = I_t$$

entonces:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < J; I_t < 2I_c \quad (8)$$

o:

$$I_a = J \quad \text{si} \quad I_t > J; J < I_c \quad (9)$$

o:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; 2I_c < J \quad (10)$$

b2) Cables aéreos con conexiones a tierra del revestimiento metálico (Figura 4)

- 1) evaluar la corriente del conector, I_c , y la corriente de ruptura, I_s , con la ecuación (4);
- 2) utilizar el valor más bajo entre $2I_c$ y $2I_s$ como valor de corriente de cresta en la prueba descrita en 5.2.4 para cables aéreos:

$$I_t = 2I_c \quad \text{o} \quad I_t = 2I_s$$

- 3) si no se producen fallos primarios durante la prueba descrita en 5.2.4, la corriente de rayo que provoca fallos es el valor más bajo entre $2I_c$ y $2I_s$:

$$I_a = 2I_c \quad \text{o} \quad I_a = 2I_s$$

si se producen fallos primarios durante la prueba de inmunidad descrita en 5.2.4, se reducirá la corriente de cresta I_t para determinar la corriente de cresta mínima que causa fallos primarios; este nuevo valor de I_t será la corriente de rayo que provoca fallos:

$$I_a = I_t$$

entonces:

$$I_a = I_t \quad \text{si} \quad I_t < 2I_s; I_t < 2I_c \quad (11)$$

o:

$$I_a = 2I_s \quad \text{si} \quad I_t > 2I_s; I_s < I_c \quad (12)$$

o:

$$I_a = 2I_c \quad \text{si} \quad I_t > 2I_c; I_c < I_s \quad (13)$$

Reemplazada por una versión más reciente

Para cables sin elementos metálicos dentro del núcleo del cable o para cables con más de un revestimiento metálico, no se evaluará la corriente I_s .

5.2 Prueba de inmunidad a las sobrecorrientes

5.2.1 Prueba de tensión de ruptura

En esta prueba se utilizará una muestra de cable de 5 metros de longitud.

Se interconectan eléctricamente los componentes conductores dentro del núcleo del cable para formar un terminal; se conecta otro terminal al revestimiento metálico aislado de los demás elementos conductores. Se coloca un generador de tensión de descarga con una forma de onda de $1,2/50 \mu s$ entre los dos terminales.

La corriente de prueba se mide durante la prueba.

Después de aplicar tensiones de descarga de amplitudes ascendentes, la prueba permite determinar el valor umbral de la tensión de descarga que causa la ruptura.

5.2.2 Prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión

En un extremo del cable se interconectan eléctricamente todos los componentes conductores 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 sobrecorriente entre los dos terminales (Figura 5).

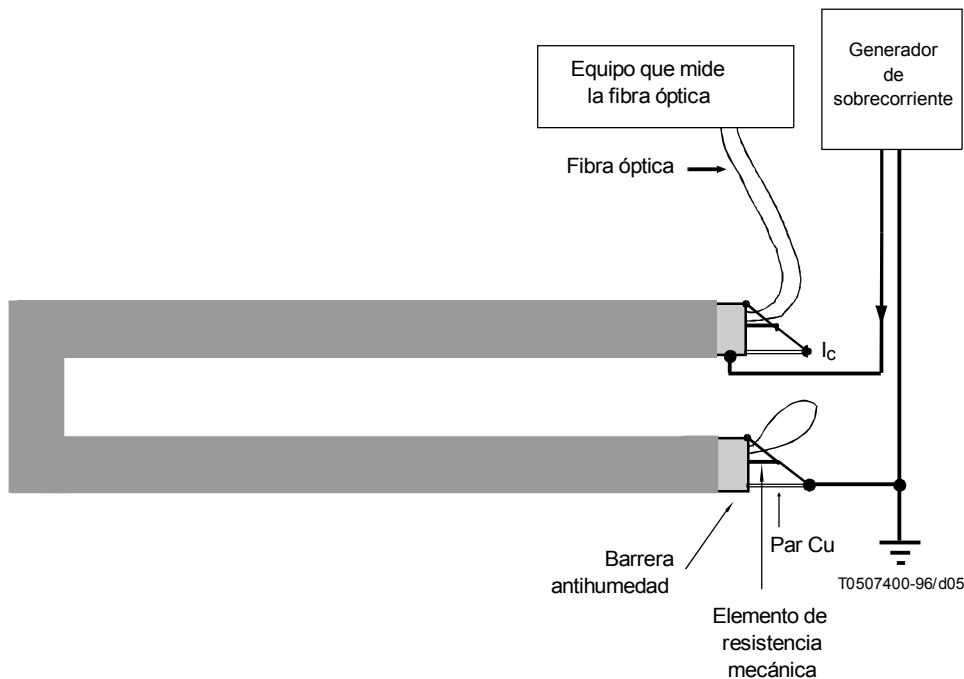


FIGURA 5/K.25

Diagrama de la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes de los elementos de interconexión

La corriente de prueba, I_c , es la corriente de impulso, I_p , (3.15) y es la única corriente medida 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 3.1. Esta prueba permite determinar el valor umbral de sobrecorriente que causa fallos primarios.

Reemplazada por una versión más reciente

5.2.3 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 6). 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 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 (Figura 6).

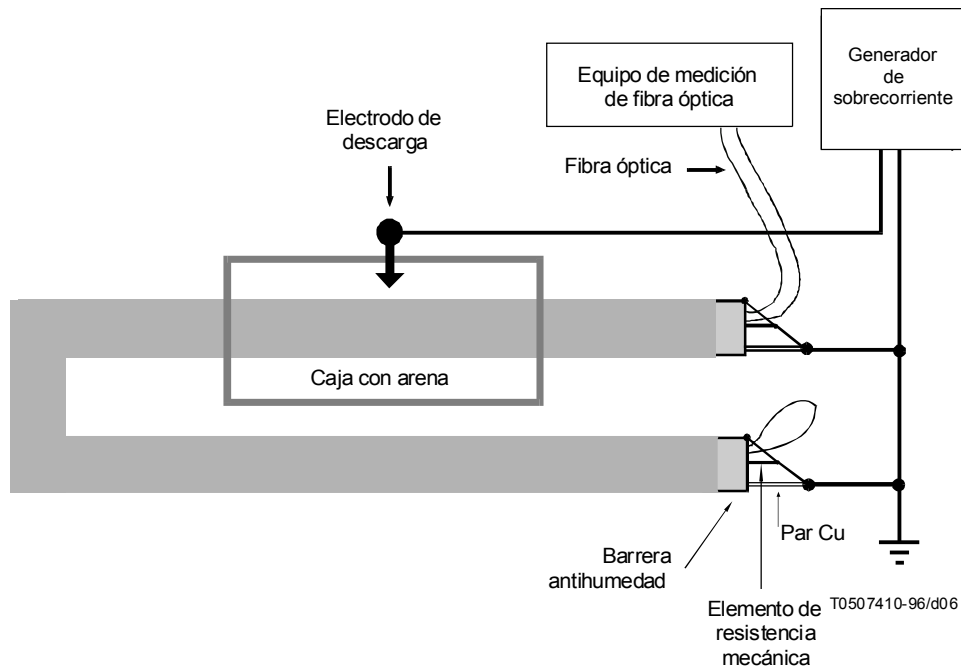


FIGURA 6/K.25

Diagrama de la prueba de inmunidad a las sobrecorrientes

Es importante que la corriente de prueba atraviese la muestra, para lo cual se practicará una pequeña hendidura u orificio con un instrumento de 1 mm de diámetro en los aislamientos que recubren el blindaje metálico externo 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 blindaje metálico externo o barrera antihumedad.

La corriente de prueba, será la corriente de impulso, I_p , (3.15) y es la única corriente medida 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 3.1. Esta prueba permite determinar el valor umbral de sobrecorriente que causa fallos primarios.

5.2.4 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 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.

Es importante que la corriente de prueba atraviese la muestra, para lo cual se practicará una pequeña hendidura u orificio con un instrumento de 1 mm de diámetro en los aislamientos que recubren el blindaje metálico externo 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 blindaje metálico externo o barrera antihumedad.

La corriente de prueba, I_p , será la corriente de impulso, I_p , (3.15) y es la única corriente medida durante la prueba.

Reemplazada por una versión más reciente

6 Necesidad de protección

6.1 Consideraciones generales

La necesidad de protección de instalaciones de cables de fibra óptica contra el rayo depende de la frecuencia de fallos primarios, N_p , (3.3) o de la tasa anual de daños, ADR, (3.3) y su frecuencia aceptada de fallos primarios, N_a , (3.5).

La frecuencia de fallos primarios, N_p , viene dada por la ecuación siguiente:

$$N_p = N_{pb} + N_{pa} + N_{ps} \quad (14)$$

donde:

- N_{pb} es la frecuencia de fallos primarios en los cables enterrados;
- N_{pa} es la frecuencia de fallos primarios en los cables aéreos;
- N_{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, N_p , es mayor que la frecuencia aceptada de fallos primarios, N_a , son necesarias medidas de protección para reducir N_p y minimizar el riesgo de fallos primarios, R_d .

Cada operador de red debe definir la frecuencia aceptada de fallos primarios, N_a , y el riesgo aceptado de daños, R_a ; en el Apéndice II se indican valores representativos de N_a y R_a .

6.2 Frecuencia de fallos primarios o tasa anual de daños para cables enterrados

La frecuencia de fallos primarios, o la tasa anual de daños, (ADR, *annual damage rate*) para cables enterrados, N_{pb} , se calcula utilizando la ecuación (6) de [1] o la siguiente ecuación:

$$N_{pb} = K_d \cdot N_d \cdot p(\geq I_a) \text{ daños/año} \quad (15)$$

donde:

$K_d = 3$ es el factor de corrección de protección, definido en 3.17.

NOTA – La presente Recomendación incorpora el factor de corrección de protección K_d para permitir una evaluación conservadora de la distancia de arco entre una descarga de rayo a tierra y un cable enterrado, utilizando una solución aproximada basada en el concepto de distancia equivalente de formación de arco D.

p es la probabilidad de que la corriente de cresta del rayo sea igual o superior al valor I_a . Se da cuenta de la distribución de probabilidad de la corriente por descarga de rayo para estructuras enterradas y aéreas en la Figura 7 y se indica mediante la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} p(i) &= 0 && \text{para } i \leq 0 \\ p(i) &= 10^{-2} \cdot e^{(a-bi)} && \text{para } i > 0 \quad (i \text{ en [kA]}) \end{aligned}$$

donde:

$$a = 4,617 \quad \text{y} \quad b = 0,0117 \quad \text{para } i < 20 \text{ kA}$$

$$a = 5,075 \quad \text{y} \quad b = 0,0346 \quad \text{para } i \geq 20 \text{ kA}$$

I_a es la corriente de rayo que provoca fallos, por ejemplo, la corriente que causa fallos primarios, y dependerá del diseño del cable (5.1);

N_d es el número anual medio previsto de descargas directas al cable (3.8), calculado con la siguiente ecuación:

$$N_d = N_g \cdot 2DL/1000 \text{ rayos/año} \quad (16)$$

donde:

N_g es la densidad de la descarga a tierra expresada en términos de descargas a tierra por kilómetro cuadrado por año; si no se dispone del mapa de N_g , se puede calcular utilizando la siguiente relación (que varía con los cambios de las condiciones climáticas):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (17)$$

Reemplazada por una versión más reciente

donde:

T_d es el número de días en los que se oye el trueno en un punto de observación específico. T_d se puede calcular utilizando mapas isoceraúnicos. Existen también mapas isoceraúnicos más detallados de zonas limitadas que se pueden solicitar a los organismos gubernamentales nacionales;

2DL en la ecuación 16, constituye la superficie que puede ser objeto de descarga directa del rayo o de formación de arcos desde un punto de descarga. L es la longitud de ruta en km. D es la distancia equivalente de formación de arco y se calcula utilizando la distribución de probabilidad de la corriente de descarga de rayos en las estructuras enterradas y aéreas indicada en la Figura 7 y expresada en la ecuación (12) de [2]:

$$D = 0,482 \sqrt{\rho} \text{ [m]}; \text{ para } \rho \leq 100 \Omega \cdot \text{m} \quad (18)$$

$$D = 0,283 \sqrt{\rho} \text{ [m]}; \text{ para } \rho \geq 1000 \Omega \cdot \text{m} \quad (19)$$

donde:

ρ es la resistividad del suelo en $\Omega \cdot \text{m}$, y es la recíproca de la conductividad del suelo. Se puede hallar el valor de ρ a partir de los mapas de resistividad del suelo o también se puede medir.

Se puede utilizar un método de interpolación gráfica o algebraica que supone una ecuación lineal para calcular D para valores de ρ entre $100 \Omega \cdot \text{m}$ y $1000 \Omega \cdot \text{m}$. En la ecuación siguiente figura la interpolación algebraica:

$$D = 0,191 (\sqrt{\rho} - 10) + 4,82 \quad (20)$$

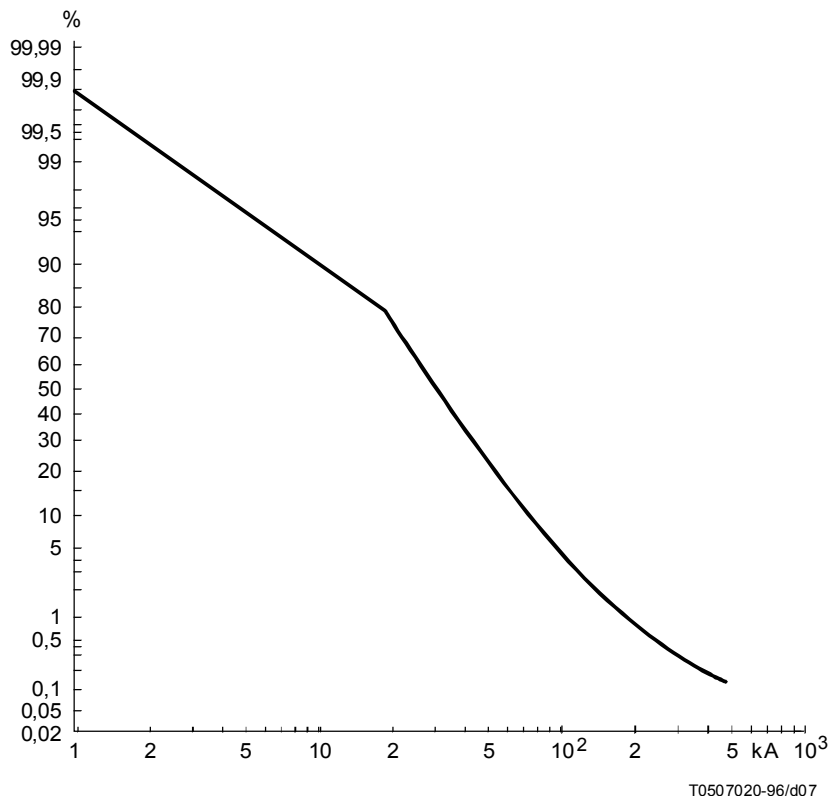


FIGURA 7/K.25

Distribución de la probabilidad acumulativa de la corriente de cresta causada por el rayo a las estructuras enterradas y aéreas

Reemplazada por una versión más reciente

6.3 Frecuencia de fallos primarios o tasa anual de daños de cables aéreos

La frecuencia de descargas directas de rayo, N_d , para una longitud de cable aéreo se puede calcular como sigue:

$$N_d = N_g \cdot A_e \quad (21)$$

$$A_e = 2 \cdot 1000 \cdot F_d \cdot H \cdot L \quad (22)$$

donde:

A_e es la zona colectora efectiva del rayo;

$F_d = 3$ es el factor de desvío de la descarga para líneas telefónicas, y todas las demás variables son tal como se define.

N_{pa} se calcula multiplicando las descargas/año, N_d , por la probabilidad de la corriente que provoca fallos, I_a , a cables aéreos:

$$N_{pa} = N_d \cdot p(\geq I_a) \text{ fallos primarios/año} \quad (23)$$

donde:

p es la probabilidad de que la corriente de cresta del rayo sea igual o mayor que el valor I_a . En la Figura 7 figura la distribución de probabilidad de la corriente por descarga de rayo en estructuras aéreas;

I_a es la corriente de rayo que provoca fallos (3.10), por ejemplo, la corriente que causa fallos primarios, y dependerá del diseño del cable (5.1).

NOTA – No se incorpora el factor de corrección de protección K_d porque la ecuación (16) permite una evaluación conservadora del número de descargas directas a un cable aéreo.

La inversa de N_p debido a la descarga de rayos producirá el tiempo medio entre fallos primarios en años.

6.4 Frecuencia de fallos primarios debidos a descargas directas del rayo en la estructura expuesta por donde entran los cables de fibra óptica

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 el revestimiento del cable de fibra óptica.

Esta corriente puede causar fallos primarios cuando es superior a la corriente de revestimiento, I_s , o a la corriente de conexión, I_c .

En consecuencia, la frecuencia de los daños N_{ps} , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$N_{ps} = N_d \cdot p(I) \quad (24)$$

donde:

N_d es la frecuencia de descargas directas del rayo en la estructura expuesta y en las estructuras adyacentes y se calcula utilizando la referencia [8];

I es el valor de cresta de la corriente del rayo en la estructura que causa una corriente de ruptura en el revestimiento, I_s , o la corriente de conexión, I_c , en el revestimiento 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 utilizando la Figura 7.

Reemplazada por una versión más reciente

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 deben estar conectados a la varilla de continuidad eléctrica equipotencial (e.p.b.b., *equipotential bonding bar*), directamente o a través de un SPD, en los extremos del cable (Figura 8).

La interconexión de los componentes metálicos tales como la armadura del cable, la barrera antihumedad o los elementos de resistencia mecánica en los empalmes y juntas puede evitarse en los cables que no utilizan conductores metálicos para las señales o la alimentación de energía (véase la Nota del 7.4).

Si el edificio del abonado no cuenta con una e.p.b.b., los elementos metálicos del cable de fibra óptica se conectarán a una e.p.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 del revestimiento metálico sólo a lo largo de la ruta para cables aéreos (véase 5.1);
- redundancia de ruta para cables enterrados y aéreos;
- utilización de descargadores para proteger los pares metálicos de cables enterrados y aéreos.

NOTAS

1 Para la utilización de descargadores en pares metálicos, véase la Recomendación K.11 «Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes» [4].

2 No se considera la puesta a tierra del revestimiento metálico 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.

3 Los cables que conducen a las estructuras expuestas [8] pueden precisar medidas protectoras adicionales conforme a [2] a fin de reducir la N_{ps} (6.4).

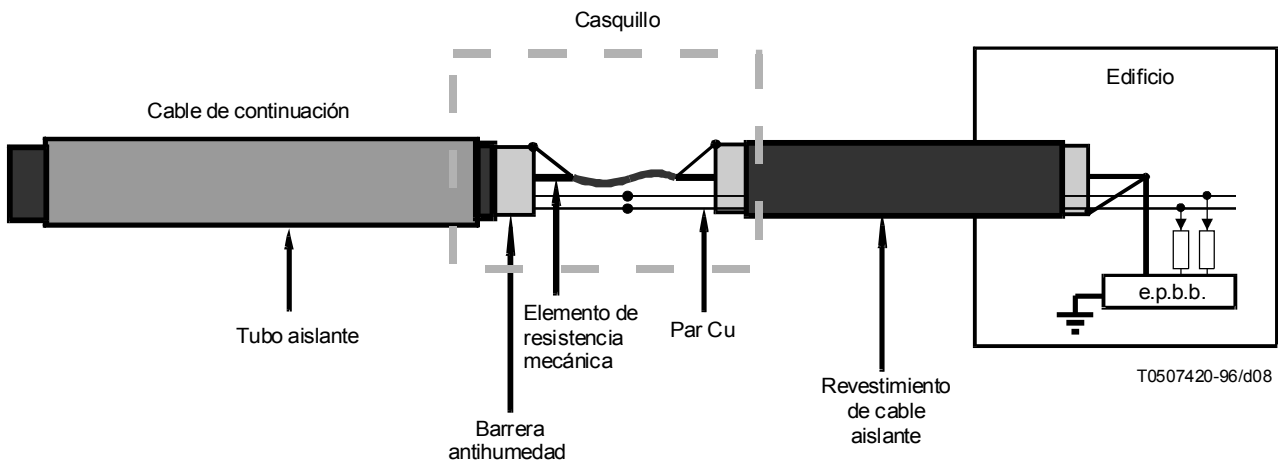


FIGURA 8/K.25

Ejemplo de conexión de elementos metálicos

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.

Reemplazada por una versión más reciente

NOTA – 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 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 de rayo que provoca fallos, I_a , que se evalúa según lo indicado en 5.1.

La elección del tipo de cable implica un valor específico de corriente de rayo que provoca fallos, I_a , que se debe poner en la ecuación (15) ó (23) para calcular la frecuencia de fallos primarios, N_{pb} y N_{pa} respectivamente.

Cuanto mayor sea el valor de I_a , menor será el valor de N_p .

7.4 Utilización de hilos de apantallamiento para cables enterrados

Se puede reducir la probabilidad del daño causado al cable subterráneo utilizando hilos de apantallamiento.

El hilo de apantallamiento intercepta una porción de la corriente de descarga reduciendo así la cantidad de descarga en el cable.

Para hilos de apantallamiento instalados adecuadamente, el valor de factor de apantallamiento, indicado por η , implica que el 100 η % de la corriente de descarga circula por el revestimiento del cable. Los valores de factor de apantallamiento se pueden calcular con el método descrito en el Apéndice I.

La disminución de la frecuencia de fallos primarios, N_p , debida a la utilización de dos hilos de apantallamiento se puede calcular como sigue:

$$N_p = K_d \cdot N_d \cdot p(\geq I_a/\eta) \quad (25)$$

donde:

$K_d = 3$ es el factor de corrección de protección, definido en 3.17;

N_d es el número anual medio previsto de descargas directas de rayo en el cable (3.7), calculado con la ecuación (7);

p es la probabilidad de que la corriente de cresta de rayo sea igual o mayor que el valor I_a/η ;

I_a es la corriente de rayo que provoca fallos;

η es el factor de apantallamiento.

NOTA – En el caso de un núcleo de cable sin partes metálicas (es decir, sólo hay un componente metálico, el revestimiento), la protección contra la inducción procedente de las líneas eléctricas se puede efectuar manteniendo continuo el revestimiento o revestimientos en los empalmes, proporcionando puesta a tierra en los repetidores y electrodos de tierra en los empalmes únicamente cuando sea necesario para limitar la tensión del revestimiento a tierra a un valor por debajo a los límites de tensión de ruptura.

La instalación de un cable o cables de apantallamiento permite también la utilización de otro sistema de protección coordinado, la interrupción del revestimiento metálico (es decir la barrera antihumedad), en cada empalme o además en posiciones intermedias, cuando sea necesario, para mantener los valores de la tensión inducida del revestimiento a tierra por debajo de los límites de tensión de ruptura [3].

7.5 Redundancia de rutas

La disponibilidad total del servicio se puede mejorar mediante rutas redundantes utilizando una segunda ruta paralela que se puede requerir por otras razones, como la necesidad de aumentar los medios.

En ese caso, el método presentado en 3.5 y 4.3 de [1] puede servir de ayuda para decidir la distancia óptima de separación entre rutas con el fin de mejorar la disponibilidad total del servicio para cables enterrados y aéreos, respectivamente.

Reemplazada por una versión más reciente

Apéndice I

Valores de factor de apantallamiento

I.1 Definición del factor de apantallamiento

Este apéndice tiene por finalidad proponer fórmulas simples para estimar el factor de apantallamiento η mencionado en 7.4.

Según [6], cuando una descarga directa hace contacto en el hilo pantalla o en el revestimiento del cable metálico, la tensión entre dichos conductores será lo bastante intensa como para producir un arco entre ellos; así pues, se puede considerar que establecen una interconexión en el punto de arco y que sólo circulará una parte de la corriente de rayo en el revestimiento del cable reduciendo así la probabilidad de un fallo primario.

De esa forma, si I_{sh} e I'_{sh} son la corriente del revestimiento sin hilo y con hilo de apantallamiento respectivamente, el factor de apantallamiento η se define como sigue:

$$\eta = \frac{I'_{sh}}{I_{sh}} \quad (I-1)$$

I.2 Factor de apantallamiento con un hilo pantalla

La ecuación es la siguiente:

$$\eta = \frac{\log \frac{r_{12}}{r_{22}}}{\log \frac{r_{12}^2}{r_{11} \cdot r_{22}}} \quad (I-2)$$

donde (véase la Figura I.1):

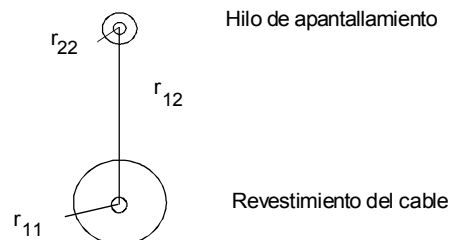
r_{11} es el radio medio del revestimiento;

r_{22} es el radio del hilo pantalla;

r_{12} es la distancia entre sus ejes.

Aire

Tierra



T0506930-95/d09

FIGURA I.1/K.25

Cable protegido con un hilo de apantallamiento

Reemplazada por una versión más reciente

I.3 Expresión del factor de apantallamiento con dos hilos pantalla dispuestos simétricamente con respecto al eje del cable

La ecuación es [7]:

$$\eta = \frac{\log \frac{r'_{12}}{r'_{22}}}{\log \frac{r'_{12}}{r'_{11} \cdot r'_{22}}} \quad r'_{12} > (2 \cdot r_{11} \cdot h)^{0,5} = r'_{11} \quad (I-3)$$

donde (véase la Figura I.2):

r'_{12} es la distancia entre el eje del cable y uno de los hilos pantalla;

$$r'_{11} = (2 \cdot r_{11} \cdot h)^{0,5}$$

r_{11} es el radio medio del revestimiento;

$$r'_{22} = (2 \cdot r_{22} \cdot h' \cdot b \cdot b')^{0,25}$$

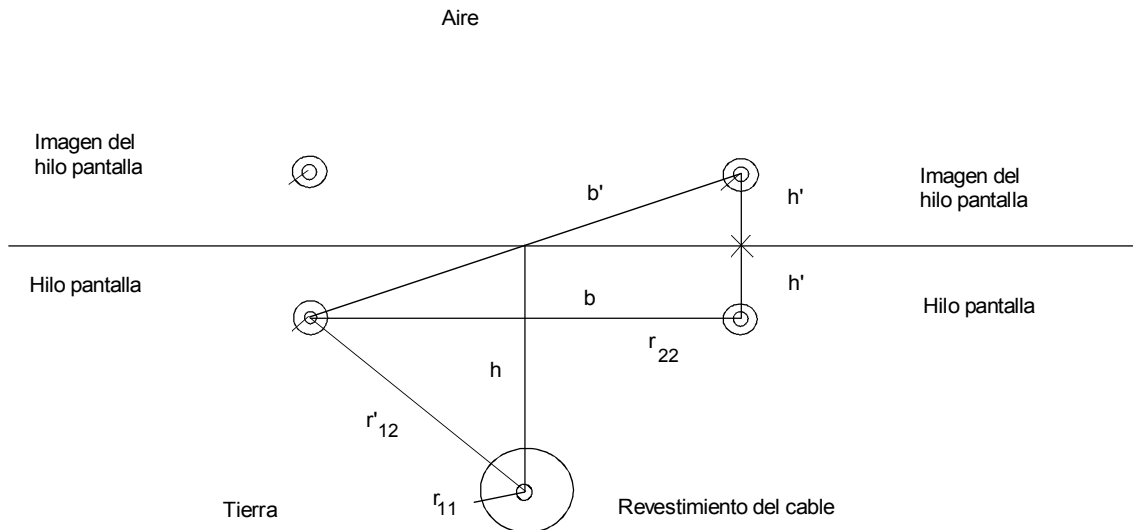
r_{22} es el radio del hilo pantalla;

h es la profundidad subterránea del cable;

h' es la profundidad subterránea de los hilos pantalla;

b es la distancia entre los hilos pantalla;

$b' = \sqrt{b^2 + 4 \cdot h'^2}$ es la distancia entre un hilo pantalla y la imagen del otro con respecto a la interfaz aire-suelo.



T0506940-95/d10

FIGURA I.2/K.25

Cable protegido con dos hilos de apantallamiento

Reemplazada por una versión más reciente

I.4 Ejemplo de aplicación

Considerando los siguientes datos del cable:

$$r_{11} = 0,02 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

y los datos del hilo pantalla siguientes:

$$r_{22} = a' = 0,004 \text{ m}$$

$$h' = 0,3 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

se obtienen los valores de η siguientes:

$$h = 0,63 \text{ para un hilo pantalla}$$

$$h = 0,45 \text{ para dos hilos pantalla}$$

Apéndice II

Frecuencia aceptada de fallos primarios (N_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, N_p , ocasionados en la instalación de fibra óptica con el valor límite de la frecuencia aceptada de fallos primarios N_a , establecida por cada operador de red.

Se puede calcular el valor N_a con la siguiente ecuación

$$N_a = R_a / \delta$$

donde:

R_a	nivel máximo aceptado del riesgo de daños;
$\delta = n' \cdot t' / n \cdot 8760$	cantidad relativa de las pérdidas previstas por daño;
n'	número medio de usuarios afectados por la interrupción del servicio por daño;
t'	tiempo en horas, de interrupción del servicio por daño;
n	número total de usuarios que utilizan el servicio.

Los valores representativos de R_a y de N_a sugeridos en esta Recomendación son:

$$N_a = 0,1 \quad R_a = 10^{-4}$$

por lo tanto:

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

Reemplazada por una versión más reciente

El Cuadro II.1 muestra el tiempo de interrupción del servicio por daños para diferentes valores posibles de la relación n'/n.

CUADRO II.1/K.25

Tiempo de interrupción del servicio por daños (t')

n'/n	t' [horas]
0,1	88
0,2	44
0,3	30
0,4	22
0,5	18
1	9