



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

LIBRO AMARILLO

TOMO IX

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K

**PROTECCIÓN DE LAS CUBIERTAS DE CABLE
Y DE LOS POSTES**

RECOMENDACIONES DE LA SERIE L



VII ASAMBLEA PLENARIA

GINEBRA, 10-21 DE NOVIEMBRE DE 1980

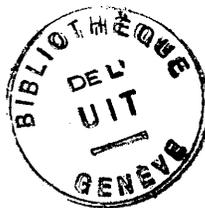
Ginebra 1981



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO



LIBRO AMARILLO

TOMO IX

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K

**PROTECCIÓN DE LAS CUBIERTAS DE CABLE
Y DE LOS POSTES**

RECOMENDACIONES DE LA SERIE L



VII ASAMBLEA PLENARIA
GINEBRA, 10-21 DE NOVIEMBRE DE 1980

Ginebra 1981

ISBN 92-61-01183-7

**CONTENIDO DEL LIBRO DEL CCITT
EN VIGOR DESPUÉS DE LA SÉPTIMA ASAMBLEA PLENARIA (1980)**

LIBRO AMARILLO

- Tomo I**
- Actas e Informes de la Asamblea Plenaria.
 - Resoluciones y Ruegos.
 - Recomendaciones sobre:
 - la organización de los trabajos del CCITT (serie A);
 - los medios de expresión (serie B);
 - las estadísticas generales de las telecomunicaciones (serie C).
 - Lista de las Comisiones de Estudio y de las Cuestiones en estudio.

Tomo II

- FASCÍCULO II.1 - Principios generales de tarificación - Tasación y contabilidad en los servicios internacionales de telecomunicaciones. Recomendaciones de la serie D (Comisión III).
- FASCÍCULO II.2 - Servicio telefónico internacional - Explotación. Recomendaciones E.100 a E.323 (Comisión II).
- FASCÍCULO II.3 - Servicio telefónico internacional - Gestión de la red, ingeniería de tráfico. Recomendaciones E.401 a E.543 (Comisión II).
- FASCÍCULO II.4 - Explotación y tarificación de los servicios de telegrafía y «de telemática».¹⁾ Recomendaciones de la serie F. (Comisión I).

Tomo III

- FASCÍCULO III.1 - Características generales de las conexiones y circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones G.101 a G.171 (Comisiones XV, XVI, CMBD).
- FASCÍCULO III.2 - Sistemas internacionales analógicos de portadoras. Características de los medios de transmisión. Recomendaciones G.211 a G.651 (Comisiones XV, CMBD).
- FASCÍCULO III.3 - Redes digitales - Sistemas de transmisión y equipos de multiplexación. Recomendaciones G.701 a G.941 (Comisión XVIII).
- FASCÍCULO III.4 - Transmisión en línea de señales no telefónicas - Transmisión de señales radiofónicas y de televisión. Recomendaciones de las series H y J (Comisión XV).

Tomo IV

- FASCÍCULO IV.1 - Mantenimiento; consideraciones generales, sistemas internacionales de portadoras, circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones M.10 a M.761 (Comisión IV).
- FASCÍCULO IV.2 - Mantenimiento de circuitos internacionales de telegrafía armónica y de facsímil y de circuitos internacionales arrendados. Recomendaciones M.800 a M.1235 (Comisión IV).
- FASCÍCULO IV.3 - Mantenimiento de circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión. Recomendaciones de la serie N (Comisión IV).
- FASCÍCULO IV.4 - Especificaciones de los aparatos de medida. Recomendaciones de la serie O (Comisión IV).

¹⁾ El término «servicios de telemática» se utiliza provisionalmente.

Tomo V – Calidad de transmisión telefónica. Recomendaciones de la serie P (Comisión XII).

Tomo VI

- FASCÍCULO VI.1 – Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización telefónicas – Interfaz con el servicio marítimo. Recomendaciones Q.1 a Q.118 *bis* (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.2 – Especificaciones de los sistemas de señalización N.ºs 4 y 5. Recomendaciones Q.120 a Q.180 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.3 – Especificaciones de sistema de señalización N.º 6. Recomendaciones Q.251 a Q.300 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.4 – Especificaciones de los sistemas de señalización R1 y R2. Recomendaciones Q.310 a Q.480 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.5 – Centrales digitales de tránsito para aplicaciones nacionales e internacionales – Interfuncionamiento de los sistemas de señalización. Recomendaciones Q.501 a Q.685 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.6 – Especificaciones del sistema de señalización N.º 7. Recomendaciones Q.701 a Q.741 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.7 – Lenguaje de especificación y de descripción funcionales (LED) – Lenguaje hombre-máquina (LHM). Recomendaciones Z.101 a Z.104 y Z.311 a Z.341 (Comisión XI).
- FASCÍCULO VI.8 – Lenguaje de alto nivel del CCITT (CHILL). Recomendación Z.200 (Comisión XI).

Tomo VII

- FASCÍCULO VII.1 – Transmisión y conmutación telegráficas. Recomendaciones de las series R y U (Comisión IX).
- FASCÍCULO VII.2 – Equipos terminales para los servicios de telegrafía y «de telemática».¹⁾ Recomendaciones de las series S y T (Comisión VIII).

Tomo VIII

- FASCÍCULO VIII.1 – Transmisión de datos por la red telefónica. Recomendaciones de la serie V (Comisión XVII).
- FASCÍCULO VIII.2 – Redes de comunicación de datos; servicios y facilidades, equipos terminales e interfaces. Recomendaciones X.1 a X.29 (Comisión VII).
- FASCÍCULO VIII.3 – Redes de comunicación de datos; transmisión, señalización y conmutación, aspectos de red, mantenimiento, disposiciones administrativas. Recomendaciones X.40 a X.180 (Comisión VII).

Tomo IX – Protección contra las perturbaciones. Recomendaciones de la serie K (Comisión V). Protección de las cubiertas de cable y de los postes. Recomendaciones de la serie L (Comisión VI).

Tomo X

- FASCÍCULO X.1 – Términos y Definiciones.
- FASCÍCULO X.2 – Índice del Libro Amarillo.

¹⁾ El término «servicio de telemática» se utiliza provisionalmente.

ÍNDICE DEL TOMO IX DEL LIBRO AMARILLO DEL CCITT

Parte I – Recomendaciones de la serie K

Protección contra las perturbaciones

Rec. N.º		Página
K.1	Puesta a tierra de un circuito telefónico para frecuencias vocales en cable	3
K.2	Protección de los sistemas de telealimentación de los repetidores contra las perturbaciones debidas a las líneas eléctricas próximas	4
K.3	Interferencias provocadas por señales a frecuencias vocales inyectadas en una red de distribución de energía	4
K.4	Perturbaciones causadas a la señalización	4
K.5	Utilización conjunta de postes para las telecomunicaciones y el suministro de energía eléctrica	5
K.6	Precauciones que deben tomarse en los cruces	5
K.7	Dispositivos de protección contra los choques acústicos	7
K.8	Separación en el suelo entre las instalaciones de telecomunicación y las instalaciones de transporte de energía eléctrica	8
K.9	Protección del personal y de las instalaciones de telecomunicación contra un gradiente de potencial de tierra elevado debido a una línea de tracción eléctrica vecina	10
K.10	Desequilibrio de las instalaciones de telecomunicación	11
K.11	Protección contra las sobretensiones	11
K.12	Especificaciones sobre las condiciones que deben reunir los descargadores con electrodos en atmósfera gaseosa para la protección de instalaciones de telecomunicaciones	15
K.13	Tensiones inducidas en los cables de conductores con aislamiento de plástico	28
K.14	Empleo de una pantalla metálica en cables de cubierta de plástico	29
K.15	Protección de los sistemas de telealimentación y de los repetidores de línea contra el rayo y las interferencias debidas a las líneas eléctricas próximas	30
K.16	Método simplificado de cálculo para evaluar los efectos de inducción magnética de las líneas eléctricas en los repetidores telealimentados de los sistemas de telecomunicación por pares coaxiales	33
K.17	Pruebas de los repetidores telealimentados equipados de dispositivos de estado sólido para verificar la eficacia de las medidas de protección contra las perturbaciones exteriores	55
K.18	Cálculo de las tensiones inducidas en líneas de telecomunicación por emisiones desde estaciones radioeléctricas y métodos para reducir las interferencias	62
K.19	Utilización conjunta de zanjas y galerías por cables de telecomunicación y cables de líneas de energía eléctrica	77

Parte II – Recomendaciones de la serie L

Protección de las cubiertas de cable y de los postes

L.1	Protección contra la corrosión	81
L.2	Impregnación de los postes de madera	81
L.3	Armadura de los cables	81

Rec. N.º		Página
L.4	Cubiertas de aluminio para cables	84
L.5	Cubiertas de cable fabricadas con metales distintos del plomo y del aluminio	86
L.6	Métodos para mantener en los cables una presión gaseosa	87
L.7	Aplicación de la protección catódica común	87
L.8	Corrosión provocada por corriente alterna	89

OBSERVACIÓN

Las Cuestiones asignadas a cada Comisión de Estudio para el periodo de estudios 1981-1984 figuran en la Contribución N.º 1 de dicha Comisión.

NOTA DEL CCITT

En este tomo, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una Administración de telecomunicaciones como una empresa privada de explotación de telecomunicaciones reconocida.

PARTE I

Recomendaciones de la serie K

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

(En esta serie de Recomendaciones se cita a menudo la publicación
*Directrices para la protección de las líneas de telecomunicación
contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas,*
ediciones separadas en francés e inglés, que se publicó en la forma
de hojas sueltas inicialmente en 1963 y se modificó en 1965, 1974 y 1978.)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES *

Recomendación K.1 (Nueva Delhi, 1960)

PUESTA A TIERRA DE UN CIRCUITO TELEFÓNICO PARA FRECUENCIAS VOCALES EN CABLE

Introducción

En el estado actual de la técnica, los cables pueden construirse de modo que las capacidades de los diversos circuitos para frecuencias vocales con relación a la cubierta estén exactamente equilibradas.

Este equilibrio de las capacidades es suficiente cuando se trata de circuitos desprovistos de toda puesta a tierra desequilibrada.

En cambio, cada puesta a tierra, incluso con un equilibrio aparente, puede dar lugar a que influyan los desequilibrios de inductancia y de resistencia de cada uno de los circuitos en los que se hace esta puesta a tierra.

La rigidez dieléctrica entre los conductores de un cable es mucho más reducida que la que existe entre estos conductores y la cubierta y, en consecuencia, la puesta a tierra de algunos de dichos conductores podría ocasionar la ruptura del dieléctrico que separa a los conductores si se somete el cable a una fuerte inducción.

Cuando un cable cargado está sometido a una fuerza electromotriz inducida elevada, la presencia de puestas a tierra permite el paso de corrientes cuya intensidad podría exceder en ciertos casos del límite admisible para la buena conservación de las propiedades magnéticas de las bobinas de carga.

El CCITT recomienda, pues, por unanimidad:

Que en los circuitos para frecuencias vocales no se hagan puestas a tierra en punto alguno, salvo si todos los bobinados de línea de los transformadores están conectados permanentemente a la cubierta mediante conexiones de poca resistencia en uno o en ambos extremos del cable.

Que, en general, no se efectúe ninguna puesta a tierra en ningún punto de una instalación (telefónica o telegráfica) conectada metálicamente a una línea de larga distancia por cable.

Que, no obstante, si, por razones especiales, hay que poner a tierra una instalación conectada directamente a circuitos para frecuencias vocales, se tomen las precauciones siguientes:

- a) La puesta a tierra se efectuará de manera que no influya en el equilibrio del circuito con relación a tierra y a los circuitos próximos.
- b) La tensión de ruptura del conjunto de los demás conductores del cable, con relación a los conductores del circuito conectado a tierra, deberá ser muy superior a la mayor tensión que, como consecuencia de la inducción de las líneas eléctricas próximas, pudiera existir entre esos conductores y los del circuito conectado a tierra.
- c) Cuando la instalación conectada al cable sea una instalación telegráfica, procederá, además, ajustarse a las Recomendaciones del CCITT sobre las condiciones de coexistencia de la telefonía y de la telegrafía (Recomendaciones de la serie H).

* Véase también el manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978. En esta serie de Recomendaciones, se utiliza la expresión *Directrices* para designar de forma abreviada el citado manual; cuando se cita un pasaje preciso de dicho manual, se utiliza un número de referencia entre corchetes.

Recomendación K.2 (Nueva Delhi, 1960)

**PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEALIMENTACIÓN DE LOS REPETIDORES
CONTRA LAS PERTURBACIONES DEBIDAS A LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS PRÓXIMAS**

Para evitar que el funcionamiento de la telealimentación de los repetidores sea interferido por la inducción magnética de una línea eléctrica próxima o como consecuencia de un acoplamiento por resistencia con una línea eléctrica próxima, el CCITT recomienda que el sistema de telealimentación de los repetidores se establezca siempre que sea posible de forma que el circuito por el que circulen las corrientes de telealimentación, habida cuenta de los órganos a él conectados, se mantenga equilibrado con relación a la cubierta y a tierra.

Recomendación K.3 (Nueva Delhi, 1960)

**INTERFERENCIAS PROVOCADAS POR SEÑALES A FRECUENCIAS VOCALES
INYECTADAS EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA**

Si los servicios de distribución de energía eléctrica recurren para la explotación de sistemas de telemando a la inyección de señales a frecuencias vocales en la red de distribución de energía, estas señales pueden provocar interferencias en las líneas de telecomunicación próximas.

Las fórmulas de las *Directrices* permiten calcular estas interferencias y determinar el valor de las tensiones y de las corrientes perturbadoras equivalentes de esas señales a frecuencias vocales.

Recomendación K.4 (Ginebra, 1964)

PERTURBACIONES CAUSADAS A LA SEÑALIZACIÓN

Para disminuir las interferencias causadas por la proximidad de líneas eléctricas en corriente continua o alterna a la señalización en corriente continua o alterna a frecuencia industrial en líneas de telecomunicación por hilo desnudo, cables aéreos o subterráneos o líneas mixtas, conviene examinar la posibilidad de adoptar, en los casos en que puedan producirse interferencias de este tipo, o en todos aquellos en que hayan sido ya observadas, uno o varios de los métodos siguientes:

- estudio y aplicación de sistemas:
 - a) que mantengan en todas las circunstancias el equilibrio del circuito de señalización con respecto a la tierra, incluso durante las operaciones de conmutación [1], y
 - b) que, aun estando equilibrados, no sean sensibles a las interferencias debidas a las corrientes longitudinales favorecidas por las puestas a tierra, directas o indirectas;
- elección del emplazamiento de las tomas de tierra de las centrales telefónicas de modo que estén alejadas, en particular, de las líneas de tracción eléctrica y de los electrodos de puesta a tierra de los sistemas de energía eléctrica;
- adopción de disposiciones que reduzcan las corrientes inducidas (utilización de cables telefónicos con un bajo factor de apantallamiento, de transformadores reguladores en las líneas de tracción monofásicas, etc.) y que faciliten la utilización de los sistemas de señalización existentes;
- utilización de transformadores neutralizadores o del sistema activo de reducción para compensar en los circuitos de telecomunicación las corrientes producidas por las tensiones inducidas;
- utilización de circuitos sintonizados para asegurar una impedancia elevada a las frecuencias de la corriente interferente.

Observación – Las *Directrices* mencionan un límite de 60 V para la tensión inducida en las líneas de telecomunicación. Este límite concierne exclusivamente a la seguridad del personal y no tiene por finalidad garantizar que no se producirá interferencia alguna en los sistemas de señalización. En el caso de sistemas de señalización desequilibrados con relación a tierra, tales interferencias pueden ser producidas por tensiones mucho más débiles, como se indica en [2].

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicación contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo XVI, edición en francés y en inglés, UIT Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] *Ibid*, capítulo V, sección 3.

Recomendación K.5 (Ginebra, 1964)

UTILIZACIÓN CONJUNTA DE POSTES PARA LAS TELECOMUNICACIONES Y EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se invita a las Administraciones que deseen emplear soportes comunes para las líneas de telecomunicación por hilo o por cable aéreo y para las líneas eléctricas, a que tengan en cuenta, cuando las leyes y reglamentos nacionales permitan adoptar tal medida, las siguientes consideraciones de orden general:

- 1) La utilización conjunta de postes por las Administraciones y las compañías de electricidad puede ser ventajosa desde el punto de vista económico y estético.
- 2) Aun empleando métodos apropiados, la construcción de soportes comunes implica, comparada con los métodos ordinarios de construcción, mayores riesgos, tanto para el personal que trabaja en las líneas de telecomunicación como para las instalaciones mismas. Es muy conveniente dar una formación especial al personal que trabaje en estas líneas, especialmente si las líneas eléctricas son de alta tensión.
- 3) Se recomienda que se respeten las disposiciones de las *Directrices* relativas a los riesgos, a las perturbaciones y a la seguridad del personal [1].
- 4) Es conveniente que se concierten acuerdos especiales entre las Administraciones y las compañías de electricidad interesadas en la utilización conjunta de los postes, con el fin de definir sus responsabilidades respectivas.
- 5) En caso de coexistencia en cortas secciones (por ejemplo, del orden de 1 km), bastará casi siempre con tomar algunas precauciones sencillas para que las perturbaciones debidas a la inducción magnética o a la eléctrica sean tolerables.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulos IV, V y XX, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.

Recomendación K.6 (Ginebra, 1964)

PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE EN LOS CRUCES

Introducción

Los cruces de líneas aéreas de telecomunicación y líneas eléctricas son peligrosos para el personal y para el equipo.

Los organismos responsables de diversos países han tomado determinadas disposiciones de las que se derivan normas aplicables en el plano nacional. Estas normas son a veces inconsecuentes y las medidas adoptadas no siempre son eficaces.

Habida cuenta del estado actual de la técnica y de la experiencia adquirida en los diferentes países, el CCITT estima posible formular una recomendación sobre las disposiciones que parecen más convenientes. Los distintos países podrán eventualmente inspirarse en ella para dictar o revisar sus reglamentos nacionales.

Se recomienda, pues, que cuando una línea aérea de telecomunicación deba cruzar una línea eléctrica se utilice un cable subterráneo para la línea aérea de telecomunicación en el lugar del cruce, o se conserve el tendido aéreo.

1 Línea subterránea

Este método no es siempre recomendable, puesto que, en caso de ruptura del conductor eléctrico, el cable subterráneo puede encontrarse en una zona en la que el potencial de tierra alcance un valor elevado. Si el cable está provisto de una cubierta metálica desnuda, esta situación será tanto más peligrosa cuanto más alta sea la tensión de la línea eléctrica, más corta la sección de cable y más elevada la resistividad del suelo. Esta situación de peligro se presenta igualmente cada vez que en las torres próximas al cable se produce una derivación a tierra.

Si las circunstancias exigen que la línea aérea pase por cable, se tomarán precauciones especiales en el punto de cruce, por ejemplo:

- revestimiento con una materia aislante de la cubierta metálica del cable en los cruces;
- utilización de un cable cuya cubierta sea totalmente de plástico.

2 Tendido aéreo

No puede recomendarse de manera general el método consistente en interponer entre la línea eléctrica y la línea de telecomunicación un hilo de guarda o una red.

De todos modos, y cualesquiera que sean las circunstancias, hay que dejar una separación vertical mínima entre la línea de telecomunicación y la línea eléctrica, de conformidad con las normas nacionales.

Además, se pueden adoptar diversas disposiciones para disminuir los riesgos:

2.1 *Utilización de soportes comunes* en el punto de cruce, a reserva de que los aisladores de la línea de telecomunicación presenten una elevada tensión de ruptura.

2.2 *Aislamiento de los conductores*, de preferencia los de telecomunicación, a reserva de que este aislamiento esté realmente adaptado a las condiciones existentes.

2.3 *Refuerzo de la construcción* de la línea eléctrica en el punto de cruce, con el fin de reducir los riesgos de ruptura.

3 Circunstancias en las que pueden aplicarse estas disposiciones de los § 2.1, 2.2 y 2.3

La aplicación de estos métodos depende esencialmente de la tensión de la línea de energía eléctrica. Las distintas tensiones que han de considerarse no están ligadas a la normalización de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), habida cuenta de las exigencias especiales del problema planteado.

3.1 *Redes que funcionen con tensiones iguales o inferiores a 600 V*

Disposiciones que han de tomarse: las que se indican en los § 2.1 ó 2.2, o ambas a la vez.

3.2 *Redes que funcionen con tensiones iguales o superiores a 60 kV*

(En especial, las redes llamadas «de gran seguridad de servicio» según [1].)

Disposición que ha de tomarse: la que se indica en el § 2.3, en caso necesario.

3.3 *Redes con tensiones intermedias*

Dada la diversidad de tensiones, de características mecánicas de las líneas y de modos de explotación en la gama comprendida entre 600 V y 60 kV, no es posible formular recomendaciones precisas.

No obstante, podrán aplicarse una o varias de las disposiciones descritas anteriormente; algunos casos particulares requieren un estudio detallado, efectuado en estrecha colaboración con los servicios interesados.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo preliminar, § 3.2.3, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA LOS CHOQUES ACÚSTICOS

En circunstancias desfavorables, pueden producirse en los terminales del receptor de un aparato telefónico altas crestas de tensión de corta duración que causen en la cápsula receptora presiones acústicas tan intensas que expongan el oído humano y el sistema nervioso a graves trastornos. Estas crestas de tensión pueden producirse principalmente cuando los descargadores insertados en los dos conductores de una línea telefónica no funcionen simultáneamente, lo que hará que recorra el aparato telefónico una corriente de compensación. Por este motivo, el CCITT recomienda el empleo de dispositivos de protección contra los choques acústicos, especialmente en el caso de líneas dotadas de descargadores de gas enrarecido, para la protección contra tensiones inducidas excesivamente elevadas (véase [1]).

El montaje del dispositivo que comprende, por ejemplo, dos rectificadores conectados en paralelo y en sentido opuesto, u otros elementos semiconductores, ha demostrado ser un medio eficaz y económico de suprimir choques de tensión de corta duración en el receptor del aparato telefónico y de evitar los riesgos consiguientes para el oído humano. En este caso, los dos rectificadores se conectan directamente en paralelo al receptor telefónico.

Para adaptarse a las condiciones de construcción del resto del equipo, permitir el rápido control de la calidad de funcionamiento de los dispositivos de protección contra los choques acústicos y no reducir en un grado inadmisiblemente la calidad de transmisión telefónica, se recomienda que estos dispositivos tengan las siguientes características:

- 1) Sus dimensiones deben ser tales que ocupen un espacio reducido (y puedan ser colocados, por ejemplo, en un receptor telefónico de operadora o de abonado).
- 2) Han de ser de construcción robusta. Sus características eléctricas no deben modificarse en las condiciones de temperatura y de humedad que puedan existir en el lugar en que sean utilizados.
- 3) Deben diseñarse en función de las características de los receptores telefónicos con los que hayan de emplearse más frecuentemente, de modo que no se calienten demasiado durante su funcionamiento.
- 4) Deben concebirse de modo que durante el funcionamiento del dispositivo de protección contra las sobretensiones en las líneas (por ejemplo, cebado y funcionamiento de los descargadores de gas enrarecido), la amplitud de la presión producida por el diafragma del receptor telefónico no exceda de unos 120 dB por encima de $2 \cdot 10^{-4}$ microbarias a 1000 Hz.

Observación — Las pruebas han demostrado que el dispositivo de protección del tipo antes mencionado posee propiedades que permiten satisfacer esta condición sin dificultad en presencia de impulsos de sobretensión y no de una sobrecarga continua de tensión.

- 5) En el cuadro 1/K.7 se indican, para ciertos dispositivos de protección utilizados con un aparato telefónico determinado, los límites de atenuación (medida con una señal sinusoidal de 800 Hz) que conviene respetar para cierto número de niveles de la tensión aplicada a los terminales de dicho aparato. Se supone que la impedancia de línea es de 600 ohmios. Para estas mediciones, el receptor se sustituye por una resistencia pura de valor correspondiente al módulo de la impedancia del receptor a 800 Hz y la atenuación se expresa por la relación de las tensiones (en unidades de transmisión) en los terminales de esta resistencia, con y sin dispositivo de protección.

Las mediciones deben hacerse con un instrumento que indique los valores eficaces (o, eventualmente, valores medios rectificados).

Cuando se estudie un nuevo tipo de dispositivo, puede ser útil hacer algunas mediciones análogas para cerciorarse de que los valores medios de las pérdidas de inserción son del mismo orden para frecuencias comprendidas entre 200 y 4000 Hz.

CUADRO 1/K.7

Nivel de tensión en los terminales (Nivel de referencia : 0,775 V)	Atenuación
Decibelios	Decibelios
- 17,4	< 0,43
- 8,7	< 0,43
0	≤ 1,7
+ 8,7	> 5,2
+ 17,4	> 10,4
+ 26,1	> 15,6

- 6) Las Administraciones que lo deseen, pueden determinar los límites que han de especificarse para las pruebas de recepción del dispositivo de protección que estimen apropiado para sus aparatos telefónicos y que reúna las condiciones del precedente apartado 5) midiendo directamente la pérdida de inserción de un espécimen de este dispositivo entre resistencias que representen el receptor y el circuito asociado de sus aparatos telefónicos y dando los resultados de esas mediciones como valores límite de la pérdida de inserción medida entre los valores de resistencia utilizados.
- 7) Conviene señalar que los armónicos producidos durante el funcionamiento del dispositivo en la forma indicada en el apartado 4) anterior, resultantes de la falta de linealidad de las características del dispositivo, pueden contribuir a la amplitud de la presión. No obstante, los efectos perjudiciales de los armónicos no se manifiestan cuando se cumplen las condiciones del apartado 5).

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo I/6, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974 y 1978.

Recomendación K.8 (Mar del Plata, 1968)

SEPARACIÓN EN EL SUELO ENTRE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIÓN Y LAS INSTALACIONES DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El valor posible de las tensiones en el suelo en las inmediaciones de los cables de telecomunicación depende de ciertos factores como la tensión de la red eléctrica, la intensidad de la corriente de pérdida, la resistividad del suelo, la disposición de la red eléctrica y de las instalaciones de telecomunicación, y de otras características locales. No se pueden, pues, sugerir reglas generales para la separación mínima que se ha de recomendar. En principio, la influencia de la red de energía eléctrica en la instalación de telecomunicaciones deberá determinarse mediante pruebas cuando se sospeche que pueden producirse tensiones excesivas. No obstante, a menudo tales pruebas pueden dar lugar a trabajos prohibitivos. La experiencia ha demostrado que no surge la menor dificultad si se supone una distancia de por lo menos 10 metros entre la instalación de telefonía y la base de una torre, a condición de que no sea demasiado alta la resistividad del suelo (algunos cientos de ohmios-metro) y de que no haya ningún factor, conocido o supuesto, que pueda hacer insuficiente esa separación. En efecto, puede ocurrir que en ciertas circunstancias sea necesario aumentar la separación; así, en Suecia ha habido que aumentarla a 50 metros cuando los parámetros del suelo tenían valores extremos.

Por otra parte, puede ocurrir que no sea necesaria una separación de 10 metros, y en ciertos países se ha comprobado que, en casos bien determinados, basta una separación de dos metros o menos (véase el anexo A).

Si las condiciones locales impiden mantener la separación necesaria, se puede proveer al cable de telecomunicación de un aislamiento adecuado en la zona en que la tensión en el suelo puede ser excesiva (por ejemplo, instalándolo en una canalización o empleando un revestimiento aislante).

ANEXO A

(a la Recomendación K.8)

Información proporcionada por la CIGRE (1964-1968)

En la figura A-1/K.8 se representa un caso práctico realizado en la región parisina, con un cable de telecomunicación tendido en la misma zanja que un cable de alta tensión de 225 kV, a lo largo de 4911 m. Los tres cables monofásicos están dentro de un tubo de acero puesto cuidadosamente a tierra en sus extremos, mientras que el cable de telecomunicación (7 cuadretes bajo plomo) está colocado en una canalización prefabricada de hormigón ligeramente armado.

Las mediciones de inducción hechas para varios valores de corriente de cortocircuito han puesto de manifiesto en la totalidad del circuito de telecomunicación (4911 metros) las siguientes fuerzas electromotrices inducidas:

Corriente de cortocircuito (amperios)	100	200	400
F.e.m. inducida (voltios por amperio)	0,055	0,046	0,036

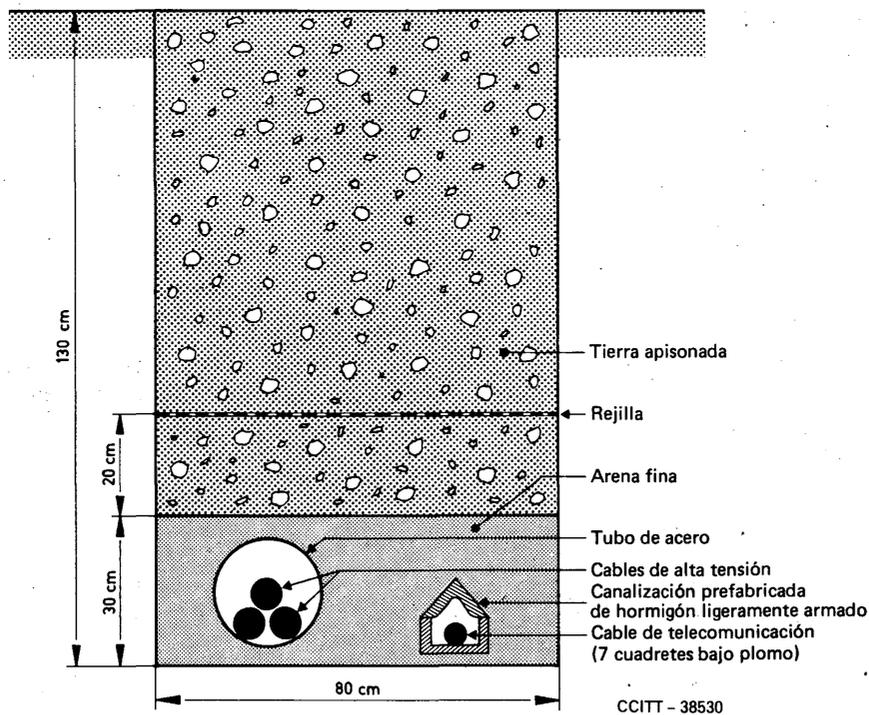


FIGURA A-1/K.8

Zanja común para un cable de alta tensión y un cable de telecomunicación

**PROTECCIÓN DEL PERSONAL Y DE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIÓN
CONTRA UN GRADIENTE DE POTENCIAL DE TIERRA ELEVADO DEBIDO A
UNA LÍNEA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA VECINA**

1 Consideraciones generales

Desde el punto de vista técnico, las precauciones tomadas en los ferrocarriles electrificados para proteger al personal y a las instalaciones pueden diferir en función de diversas particularidades, principalmente de las siguientes:

- valor de la resistividad del suelo;
- equipo eléctrico de la línea (circuitos de vía) exigido por las instalaciones ferroviarias de seguridad, que puede oponerse a la conexión sistemática al carril de las estructuras metálicas próximas a la vía;
- en el caso de sistemas de tracción eléctrica en alterna, la presencia o la ausencia de transformadores reguladores modifica en cierta medida las características de los dispositivos de protección que se han de utilizar;
- el grado de aislamiento de las líneas de contacto, que puede también influir en la naturaleza de esos dispositivos, sobre todo en el caso de líneas electrificadas con una tensión relativamente baja, como las líneas de corriente continua de 1500 V;
- el método que se ha de recomendar para conectar al carril una estructura metálica en caso de sobretensión, sin conexión permanente (mediante, por ejemplo, un descargador).

2 Líneas de tracción eléctrica en corriente alterna

Cuando no existan instalaciones de seguridad que impidan conectar al carril las estructuras metálicas próximas a la vía, se recomienda conectar sistemáticamente al carril esas estructuras, por ejemplo, las que se encuentren a menos de determinada distancia de la vía.

De ser imposible conectar esas estructuras al carril, se recomienda ponerlas a tierra mediante un electrodo de resistencia suficientemente baja.

3 Líneas de tracción eléctrica en corriente continua

Las medidas de protección deben también, en su caso, tener en cuenta la necesidad de evitar los riesgos de corrosión electrolítica. Esas medidas pueden consistir en conectar al carril únicamente las estructuras metálicas suficientemente aisladas del suelo, en conectarlas al carril por medio de descargadores o, por último, en no conectar al carril ni poner a tierra las estructuras metálicas que soporten líneas de contacto suficientemente aisladas y para una tensión de servicio lo bastante baja.

4 Cables de telecomunicación

En las nuevas instalaciones se recomienda que, en las proximidades de los carriles, a la entrada de las subestaciones y al atravesar puentes metálicos, se tiendan cables con revestimiento plástico, eventualmente de gran rigidez dieléctrica, a fin de evitar todo contacto entre los cables y esas estructuras.

No obstante, en el caso de cables con cubierta metálica ya existentes, la conexión de las cubiertas de cable al carril puede ser una buena solución, al menos en las grandes estaciones de ferrocarril.

5 Condiciones que deben reunir las instalaciones de CTT próximas a líneas de tracción eléctrica

Las principales precauciones que deben tomarse para su protección son las siguientes:

- ubicación de las instalaciones fuera de la zona de peligro;
- apantallamiento;
- sustitución de los elementos metálicos por elementos aislantes, sobre todo para las vainas o cubiertas de los cables y para los armarios y cajas de repetidores.

Observación — Las citadas recomendaciones se basan únicamente en consideraciones técnicas que hay que examinar con atención en cada caso. Queda entendido que las Administraciones deberán ajustarse a la reglamentación y a la legislación en vigor en sus respectivos países.

DESEQUILIBRIO DE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIÓN

Para mantener un equilibrio satisfactorio de las instalaciones de telecomunicación y de las líneas a ellas conectadas, se recomienda que los valores mínimos admisibles, en lo que concierne al equilibrio, sean de 40 dB (de 300 a 600 Hz) y de 46 dB (de 600 a 3400 Hz). Esta recomendación de carácter general no excluye en modo alguno la posibilidad de indicar, en otras Recomendaciones del CCITT¹⁾ valores mínimos más elevados apropiados para necesidades particulares.

Para medir el desequilibrio en equipos de telecomunicaciones debe emplearse el circuito de prueba indicado en la figura 1/K.10.

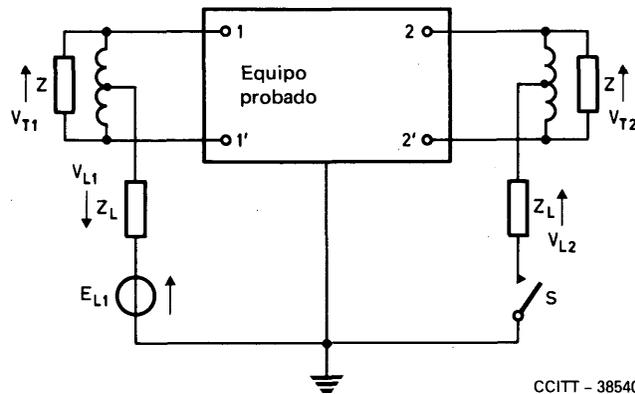


FIGURA 1/K.10
Circuito de prueba

CCITT - 38540

En la gama de audiofrecuencias debe aplicarse la siguiente especificación: $Z_L = Z/4$ (véase la Recomendación Q.45 [1])

Referencias

- [1] Recomendación del CCITT *Características de transmisión de una central internacional*, Tomo VI, fascículo VI.1, Rec. Q.45.
- [2] CCITT - Cuestión 13/V, contribución COM V-N.º 1 del periodo de estudios 1981-1984, Ginebra, 1981.

Recomendación K.11

PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES

Esta Recomendación describe el modo en que pueden aparecer sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones, los métodos que permiten evitarlas o reducirlas, y los dispositivos de protección que pueden utilizarse para resguardar la línea y su equipo terminal. Se incluye más información en el manual del CCITT citado en [1] y en las *Directrices*.

1 Origen de las sobretensiones

Pueden producirse sobretensiones en las líneas por las causas siguientes:

1.1 Descargas directas de rayos

Estas descargas pueden provocar la circulación de corrientes de varios miles de amperios por hilos o cables durante algunos microsegundos. Pueden producirse daños físicos y las sobretensiones de muchos kilovoltios pueden sobrecargar los dieléctricos de las instalaciones de línea y del equipo terminal.

¹⁾ Véanse en particular la Recomendación Q.45 [1] y la continuación del estudio de la Cuestión 13/V [2].

1.2 *Descargas de rayos próximas*

Las corrientes debidas a descargas atmosféricas de una nube a tierra o de una nube a otra provocan sobretensiones en las líneas de tendido aéreo o en las líneas subterráneas próximas al lugar de la descarga. La superficie afectada puede ser grande en zonas con una elevada resistividad del suelo.

1.3 *Inducción provocada por las corrientes de fallo en las líneas de transporte de energía, incluidos los sistemas de tracción eléctrica*

Los fallos a tierra de los sistemas de transporte de energía provocan grandes corrientes asimétricas que circulan por la línea de transporte de energía induciendo sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones adyacentes que siguen un camino paralelo. Las sobretensiones pueden llegar hasta varios kilovoltios con duraciones de 200 a 2000 ms (a veces incluso mayores) según el sistema de eliminación de fallo utilizado en la línea de transporte de energía.

1.4 *Contactos con líneas de transporte de energía*

Pueden producirse contactos entre líneas de transporte de energía y líneas de telecomunicación cuando catástrofes locales, por ejemplo, tormentas, incendios, etc., causan deterioro a ambos tipos de instalaciones o cuando no se respetan las medidas normales de separación o aislamiento. Las sobretensiones raramente exceden de 240 V en corriente alterna (valor eficaz) con relación a tierra en países en los que es ésta la tensión de distribución normal, pero pueden mantenerse durante un tiempo indefinido antes de ser advertidas. Cuando se emplean tensiones de distribución superiores, por ejemplo, de 2 kV, las disposiciones de protección de las líneas de energía aseguran normalmente la interrupción de la alimentación en un plazo breve (1 segundo o menos) tras el fallo. La sobretensión puede provocar la circulación de corrientes excesivas por la línea de toma de tierra de la central, causando deterioro al equipo y representando un peligro para el personal.

1.5 *Elevación del potencial de tierra*

Los fallos a tierra en los sistemas de transporte de energía producen corrientes en el suelo que elevan el potencial en las proximidades del lugar del fallo y del electrodo de puesta a tierra de la fuente de alimentación de energía (véase también la Recomendación K.9). Estos potenciales de tierra pueden afectar a las instalaciones de telecomunicación de dos maneras:

- a) Los sistemas de señalización de telecomunicación pueden funcionar incorrectamente si el electrodo de tierra de señalización se halla en un suelo cuyo potencial sólo es 5 V superior con respecto a la tierra verdadera. Tales tensiones pueden ser provocadas por fallos poco importantes en el sistema de transporte de energía que pueden pasar desapercibidos durante largo tiempo.
- b) Elevaciones mayores del potencial de tierra pueden representar un riesgo para el personal que trabaja en la zona afectada o, en casos extremos, pueden ser suficientes para perforar el aislamiento del cable de telecomunicaciones, provocando daños importantes.

2 **Prevención de sobretensiones**

2.1 Las líneas de telecomunicación pueden apantallarse en cierta medida contra el rayo mediante estructuras metálicas adyacentes puestas a tierra, por ejemplo, líneas de transporte de energía o sistemas ferroviarios eléctricos. Los cables de elevada rigidez dieléctrica tienen menor probabilidad de ser dañados por el rayo, pero pueden transmitir sobretensiones a partes más vulnerables de la red. Con pantallas metálicas eficaces en forma de cubiertas de cable, canalizaciones de cable o hilos de guarda contra el rayo pueden reducirse los efectos de este tipo de sobretensiones y de la inducción causada por líneas de transporte de energía. En las zonas de elevada actividad cerámica se emplean a menudo cables especiales con múltiples apantallamientos y elevada rigidez de aislamiento. La unión de todos los elementos metálicos proporciona una útil protección.

2.2 La inducción provocada por líneas de transporte de energía puede hacerse mínima coordinando los trabajos de instalación de las líneas de energía y de telecomunicaciones. El nivel de inducción puede reducirse en su origen mediante la instalación de hilos a tierra y de limitadores de corriente en el sistema de transporte de energía.

2.3 La probabilidad de contacto entre las líneas de energía y de telecomunicaciones se reduce observando las normas convenidas de instalación, separación y aislamiento. Se plantean consideraciones económicas, pero a menudo es posible utilizar conjuntamente zanjas, postes y canalizaciones, siempre que se adopten las adecuadas medidas de seguridad (véanse las Recomendaciones K.5 y K.6). Es particularmente importante evitar contactos con líneas de alta tensión respetando una norma rigurosa de instalación, pues de producirse tales contactos puede resultar muy difícil evitar graves consecuencias.

3 Necesidad de protección

Pese a las medidas expuestas para evitar sobretensiones, éstas pueden, no obstante, producirse debido a las condiciones locales.

3.1 Las líneas más expuestas y las que se hallan en zonas con suelo de gran resistividad son más susceptibles a las sobretensiones debidas al rayo. Pueden ser frecuentes valores de sobretensión elevados si el nivel cerámico local es alto.

3.2 Las sobretensiones inducidas por fallos de líneas de transporte de energía o líneas de tracción pueden incluso exceder los niveles permitidos por las *Directrices* aun después de haberse adoptado todas las medidas de protección posibles.

3.3 Las sobretensiones pueden no sólo sobrecargar los conductores o el aislamiento a lo largo de la línea, sino que pueden dañar equipos sensibles presentes en los terminales de línea. Puede haber riesgo de incendios cuando se producen contactos de inducción prolongados con las líneas de transporte de energía. El personal de telecomunicaciones y los abonados pueden necesitar protección contra choques eléctricos.

3.4 Una vez elegida una protección, habrá que cotejar la probabilidad de sobretensiones con sus efectos estimados. Habrá que respetar las normas mínimas de servicio aceptables y aprovechar al mismo tiempo toda ventaja derivada de una solución transaccional mediante la utilización de determinados métodos de protección.

4 Tipos de dispositivos de protección

4.1 Una línea de telecomunicación puede ofrecer cierta protección al equipo en determinadas condiciones, por ejemplo:

- puede fundirse un conductor y desconectarse ante una corriente excesiva;
- puede perforarse un aislamiento de conductor y reducir una sobretensión;
- puede producirse un cebado a nivel de los dispositivos de conexión y reducir las sobretensiones.

Esta protección complementa la ofrecida por los dispositivos de protección, y puede ser suficiente si el riesgo de sobretensiones es muy pequeño.

4.2 *Descargadores con electrodos de carbón o metálicos*

Se conectan normalmente entre cada hilo de una línea y tierra para brindar protección en la gama de 800 a 1600 V. Son baratos pero pueden necesitar mantenimiento si funcionan frecuentemente.

4.3 *Descargadores de gas*

Se conectan normalmente entre cada hilo de una línea y tierra o, como unidades de tres electrodos entre un par y tierra. Sus características de funcionamiento pueden especificarse hasta límites precisos para satisfacer las exigencias del sistema. Las tensiones de funcionamiento pueden ser de 90 V o más. Los descargadores son compactos y pueden funcionar frecuentemente sin necesidad de atención alguna.

En la Recomendación K.12 se incluyen descripciones y especificaciones completas de los descargadores de gas.

4.4 *Dispositivos de protección con semiconductores*

Se utilizan de modo similar a los descargadores con electrodos de carbón o de gas; permiten proteger al equipo contra sobretensiones de hasta tan sólo 1 V. Son precisos y rápidos, pero pueden dañarse con corrientes excesivas.

4.5 *Fusibles*

Se conectan en serie con cada hilo de una línea y se desconectan cuando circula una corriente excesiva. Los fusibles normales tienen un hilo de sección uniforme que puede fundirse. Los fusibles lentos tienen un hilo de sección uniforme que se funde rápidamente cuando circula una corriente elevada y un elemento fusible en forma de muelle que se funde gradualmente y se desconecta cuando circulan corrientes más bajas durante un tiempo prolongado. Niveles típicos de funcionamiento son sobrecorrientes de 2 A y corrientes prolongadas de 250 mA. Los fusibles no deben mantener un arco después de funcionar. Los fusibles no ofrecen protección contra las sobretensiones debidas a rayos y en las zonas en las que estas sobretensiones son frecuentes pueden ser necesarios fusibles para valores muy elevados (hasta 20 A) para evitar contrariedades debidas a fallos de los fusibles. Estos fusibles pueden ofrecer una protección adecuada contra los contactos con líneas de transporte de energía. Los fusibles pueden también ser fuente de ruido y de fallos de desconexión.

4.6 *Bobinas térmicas*

Conectadas en serie con cada hilo de una línea, las bobinas térmicas desconectan la línea, la ponen a tierra, o hacen ambas cosas, con la tierra prolongada hasta la línea. Las bobinas térmicas suelen tener un componente fusible que actúa cuando circulan corrientes por lo general de 500 mA, durante unos 200 segundos.

5 **Emplazamiento de los dispositivos de protección**

5.1 Cuando es necesario disponer protección contra sobretensiones producidas por el rayo en equipo de cable subterráneo y en equipo de abonado, se instalan normalmente dispositivos de protección contra sobretensiones en cada extremo de los tramos aéreos de la línea. Puede también ser conveniente instalar dispositivos de protección en las uniones de líneas en que se pasa de una rigidez dieléctrica alta a una baja. Las conexiones con los dispositivos de protección contra sobretensiones empleados contra el rayo deben ser lo más cortas posible.

5.2 Para proteger el aislamiento de los conductores, conviene unir todas las cubiertas, pantallas, etc., metálicas, y conectar dispositivos de protección contra sobretensiones entre los conductores y esta unión metálica. Esta técnica es particularmente útil en zonas cuyo suelo tiene una alta resistividad, pues evita la necesidad de costosos sistemas de electrodos para la conexión a tierra del dispositivo de protección.

5.3 Cuando se utilizan dispositivos de protección para reducir las altas tensiones que aparecen en las líneas de comunicación debido a la inducción de las corrientes de cortocircuito de las líneas de energía, éstos deberán instalarse en todos los hilos en ambos extremos del tramo de línea afectado, o lo más próximo posible a éste.

5.4 Los dispositivos de protección contra sobretensiones utilizados para resguardar el equipo de las centrales deben instalarse en el repartidor principal. Los equipos electrónicos modernos son vulnerables a las sobretensiones incluso de amplitud relativamente baja y puede necesitarse el instalar protección adicional en el propio equipo. Es importante coordinar los diversos componentes de protección de una línea para conseguir un resultado satisfactorio y que sus características de funcionamiento corresponden al grado de existencia a las sobretensiones del equipo y líneas de que se trate.

5.5 En las líneas de telecomunicaciones que pueden entrar en contacto con líneas de transporte de energía, suele ser más conveniente, desde el punto de vista de la seguridad del personal, dejar conectada la línea, es decir, sin instalar fusibles en serie con la línea, de modo que la sobretensión se reduzca, a través de la tierra del equipo de telecomunicaciones, en el repartidor principal. Si se utilizan fusibles, bobinas térmicas, o ambos, se suelen instalar en el repartidor principal. Cuando se utilizan ambos elementos, el fusible se halla en el lado línea de la bobina térmica.

6 **Efectos residuales**

Cuando se utiliza protección, deberán considerarse las siguientes consecuencias posibles.

6.1 *Sobretensiones residuales*

Deberán tenerse en cuenta:

- a) las tensiones no reducidas por el dispositivo de protección por ser inferiores a su umbral de funcionamiento,
- b) los fenómenos transitorios que pasan antes de entrar en funcionamiento el dispositivo,
- c) las corrientes residuales mantenidas después del funcionamiento del dispositivo,
- d) los fenómenos transitorios producidos por el funcionamiento del dispositivo.

6.2 *Tensiones transversales*

Los dispositivos de protección instalados en los dos hilos de un par pueden no funcionar simultáneamente, dando lugar así a un impulso transversal. En determinadas condiciones, particularmente si el equipo que ha de protegerse es de baja impedancia, el funcionamiento de un dispositivo de protección puede impedir el funcionamiento del otro, y puede quedar una tensión transversal mientras haya tensiones longitudinales en la línea.

6.3 *Dificultades de coordinación*

Para la protección de equipo sensible es a veces necesario utilizar más de un dispositivo de protección, por ejemplo, un dispositivo de funcionamiento rápido y baja corriente tal como un semiconductor y un dispositivo de funcionamiento lento y alta corriente tal como un tubo de descarga de gas. En tales casos deben tomarse medidas para asegurar que en el caso de una sobretensión de larga duración el dispositivo de baja corriente no impida el funcionamiento del dispositivo de alta corriente, pues si esto ocurre el primero puede resultar deteriorado.

6.4 *Efecto sobre el funcionamiento normal del circuito*

Hay que prever un margen suficiente entre la tensión de funcionamiento de los dispositivos de protección y la mayor tensión presente en la línea durante el funcionamiento normal.

6.5 *Alteraciones resultantes*

Un dispositivo de protección puede resguardar una sección de la línea a costa de otra, por ejemplo, si un fusible de repartidor funciona a causa de un contacto con una línea de energía, la tensión en la línea de telecomunicaciones puede alcanzar el valor de la tensión nominal de la línea cuando el fusible desconecta la tierra del equipo de telecomunicaciones.

6.6 *Disponibilidad del circuito*

El circuito protegido puede quedar temporal o permanentemente fuera de servicio cuando funciona un dispositivo de protección.

6.7 *Probabilidad de fallos*

El uso de dispositivos de protección puede causar problemas de mantenimiento por falta de fiabilidad. Estos dispositivos también pueden impedir la aplicación de ciertos procedimientos de prueba de líneas y de equipo.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación*, UIT, Ginebra, 1974, 1978.

Recomendación K.12 (Ginebra, 1972)

ESPECIFICACIONES SOBRE LAS CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LOS DESCARGADORES CON ELECTRODOS EN ATMÓSFERA GASEOSA PARA LA PROTECCIÓN DE INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES

Preámbulo

Es cada vez más importante proteger las líneas de telecomunicación contra las perturbaciones exteriores (descargas atmosféricas, efectos de las líneas e instalaciones de energía eléctrica). Por una parte, ha aumentado la sensibilidad de las instalaciones de telecomunicaciones con la introducción de los semiconductores y, por otra, los riesgos que presentan las instalaciones de alta tensión son mayores por el inevitable desarrollo de éstas.

Es menester pues, que las Administraciones telefónicas y los demás usuarios de las redes de telecomunicaciones puedan disponer de dispositivos de protección de alta calidad, fiabilidad excepcional y dignos de toda confianza.

Entre los dispositivos de protección, los más utilizados son sin duda los descargadores.

La presente especificación contiene las condiciones primordiales que deben satisfacer los descargadores con electrodos en atmósfera gaseosa, destinados a proteger las instalaciones de telecomunicaciones.

La especificación trata tanto de las características de los descargadores como de su fiabilidad.

Las características de funcionamiento exigidas pueden variar según las aplicaciones proyectadas, y las tolerancias podrán ser más o menos estrictas, pero la fiabilidad es el factor fundamental. Sea cual fuere el tipo de descargador con electrodos en atmósfera gaseosa utilizado, su fiabilidad ha de ser muy elevada.

1 Consideraciones generales

1.1 Los descargadores con electrodos en atmósfera gaseosa (llamados a veces de gas enrarecido) se utilizan para proteger las líneas de telecomunicaciones aéreas y subterráneas de las sobretensiones que pueden producir las descargas atmosféricas o las instalaciones de energía eléctrica (inducción magnética, contacto entre líneas de transporte de energía y líneas de telecomunicaciones) con el fin de evitar todo riesgo:

- a) a las líneas de telecomunicaciones y al equipo a ellas conectado,
- b) a las personas en contacto con las líneas o con elementos de las instalaciones de telecomunicaciones.

En adelante, el término *descargadores* designa a los descargadores con electrodos en atmósfera gaseosa.

1.2 Estos descargadores limitan el nivel de las sobretensiones mediante una descarga en un medio gaseoso cerrado; establecen así un enlace conductor entre los elementos de la instalación que sufren la sobretensión, o entre la instalación y el sistema de puesta a tierra, garantizando una igualación del potencial dentro de los límites de la tensión residual del descargador.

La limitación es eficaz cuando, al rebasar la sobretensión el valor de la tensión de cebado del descargador, se produce una descarga en régimen de arco con una débil tensión residual.

1.3 La robustez del descargador se caracteriza por el valor de la corriente de descarga que puede soportar y por la duración de esta corriente. (El valor de la corriente debe ser inferior al límite que provoque la destrucción del descargador.)

1.4 Las características eléctricas del descargador deben estar dentro de los límites de tolerancia especificados cuando el mismo está sometido a descargas sucesivas correspondientes a su corriente nominal de descarga.

2 Campo de aplicación

2.1 Los requisitos indicados se aplican a los descargadores con uno o más espacios de descarga en un medio gaseoso cerrado, destinados a limitar las sobretensiones en las instalaciones de telecomunicaciones.

2.2 Estas condiciones no se aplican a los descargadores montados en serie con resistencias dependientes de la tensión, destinados a limitar las corrientes residuales en las redes de energía eléctrica.

2.3 Las disposiciones generales de las presentes especificaciones se aplican a todos los descargadores utilizados en las redes de telecomunicaciones, pero se reconoce que algunos de los valores indicados más adelante deben modificarse cuando se trate de descargadores asociados a impedancias destinadas a reducir la corriente de descarga; en estos casos, los valores aplicables los debe fijar por separado el propio usuario.

3 Definiciones

3.1 cebado de un descargador

Lo constituye la ruptura eléctrica del espacio entre sus electrodos.

3.2 tensión continua de cebado de un descargador

Valor de la tensión con la que funciona el descargador cuando se le aplica una tensión continua que crece lentamente. Esta magnitud indica que el descargador es capaz de cumplir su cometido. Se aplica en las mediciones periódicas de comprobación.

3.3 tensión continua nominal de cebado de un descargador

Valor especificado por el fabricante para designar el descargador (para la clasificación de los tipos). Sirve para indicar la gama de aplicación del descargador con relación a las condiciones de servicio de la instalación que debe protegerse. Las tolerancias para la tensión continua de cebado se refieren también a este valor nominal.

3.4 **tensión alterna de cebado de un descargador**

Valor eficaz de la tensión sinusoidal con la que funciona el descargador cuando se le aplica una tensión alterna que crece lentamente, a una frecuencia comprendida entre 15 y 62 Hz.

Este valor se utiliza esencialmente para indicar la gama de aplicación cuando los descargadores están destinados a proteger las líneas de telecomunicaciones en caso de cruce o de proximidad de líneas eléctricas.

3.5 **tensión de cebado por choque de un descargador**

La mayor de las tensiones que aparecen en los terminales de un descargador entre el instante de aplicación de un impulso con una forma dada y el momento en el que empieza a fluir la corriente.

3.6 **curva tensión de cebado por choque/tiempo de un descargador**

Curva que representa la tensión de cebado por choque en función del tiempo, hasta el cebado.

3.7 **corriente alterna de descarga**

Valor eficaz de una corriente alterna aproximadamente sinusoidal que pasa por el descargador.

3.8 **corriente alterna nominal de descarga**

La corriente alterna nominal de descarga, para frecuencias de 15 a 62 Hz, es la corriente alterna de descarga para la que se calculó el descargador, teniendo en cuenta un tiempo definido para el paso de esa corriente.

3.9 **corriente de choque de descarga**

Valor de cresta de la corriente de choque que recorre el descargador después del cebado de éste.

3.10 **corriente nominal de choque de descarga**

Valor de cresta de la corriente de choque para el que se calculó el descargador, estando definido el tiempo de paso por la forma de onda de la corriente.

3.11 **característica de destrucción**

Esta característica indica la relación entre el valor de la corriente de descarga y el tiempo de paso de esta corriente, al término del cual el descargador queda destruido mecánicamente (ruptura, cortocircuito entre electrodos). Se deduce del promedio de mediciones hechas en varios descargadores.

Para periodos comprendidos entre 1 μ s y varios ms, se basa en la corriente de choque de descarga; para duraciones superiores a 0,1 s, se basa en la corriente alterna de descarga.

3.12 **tensión residual**

Valor instantáneo de la tensión que aparece en los terminales de un descargador durante el paso de una corriente de descarga.

Se distinguen la tensión residual de descarga en régimen de efluvio y la tensión residual en régimen de arco, ya que esta magnitud depende del tipo de descarga.

3.13 **corriente de efluvio**

Valor instantáneo de la corriente de descarga cuando los electrodos del descargador son rodeados por un efluvio.

3.14 **corriente de arco**

Valor instantáneo de la corriente de descarga cuando se forma un arco entre los electrodos del descargador.

3.15 curva tensión/corriente de descarga

La curva tensión/corriente de descarga para corrientes alternas de frecuencia comprendida entre 15 y 62 Hz da la relación entre el valor instantáneo de la tensión y la corriente en el descargador durante el paso de la corriente de descarga.

3.16 tensión transversal

La tensión transversal de un descargador que comprende más de dos electrodos es la diferencia entre las tensiones residuales en los electrodos del descargador conectados a los dos conductores de un circuito de telecomunicaciones, durante el paso de la corriente de descarga.

4 Condiciones generales

4.1 El descargador debe calcularse y construirse de modo que no represente peligro alguno para las personas u objetos próximos durante su funcionamiento normal o si presenta algún defecto.

Es conveniente prestar la mayor atención a los problemas de recalentamiento inadmisibles, de destrucción por sobrecargas y de ausencia de radiación en caso de preionización por sustancias radioactivas.

La construcción mecánica de los descargadores es de la mayor importancia, principalmente por lo que respecta a la junta hermética entre el metal y la cubierta. Esta junta debe tener, en general, una sección transversal suficientemente grande para que ninguna descarga — por intensa que sea — pueda romperla o hendirla. Esto se aplica de modo particular a las conexiones que la atraviesan.

Es asimismo conveniente que el descargador sea lo suficientemente robusto para que los choques mecánicos no alteren sus características eléctricas.

4.2 Las tensiones de cebado de los descargadores deben elegirse de modo que:

4.2.1 estén adaptadas a la rigidez dieléctrica del aislante de la instalación que se protege;

4.2.2 tengan en cuenta las prescripciones de seguridad vigentes para la protección de las personas contra sobretensiones de corta duración;

4.2.3 estén suficientemente por encima de las tensiones máximas de servicio, a fin de no perturbar los circuitos en servicio.

4.3 La resistencia de aislamiento y la capacidad de los descargadores deben elegirse de modo que no se perturbe en absoluto el funcionamiento de los circuitos de telecomunicaciones.

4.4 El descargador no debe seguir funcionando con la tensión normal de la línea cuando haya desaparecido la sobretensión.

5 Términos y valores tipo que designan a los descargadores

Los términos y valores siguientes indican las características eléctricas de los diversos tipos de descargador:

5.1 *Tensiones de cebado en función del tiempo desde el instante en que se aplica la tensión hasta el comienzo de la corriente de descarga*

Un ejemplo de la característica $U_a = f(t)$ figura en el apéndice I.

Las tensiones de cebado son:

5.1.1 la tensión continua nominal de cebado;

5.1.2 la tensión de cebado por choque, en presencia de una tensión de choque normalizada según el § 7.

5.2 *Capacidad de descarga en función de la duración de la descarga*

Los valores que indican la capacidad de descarga son:

5.2.1 la corriente alterna nominal de descarga que fluye durante un tiempo determinado;

5.2.2 la corriente nominal de choque de descarga con una forma de onda normalizada según el § 7;

5.2.3 la característica de destrucción [en el apéndice II figura un ejemplo de la característica $I_d = f(t)$].

5.3 *Tensiones residuales en función de la corriente de descarga* [en el apéndice III figura en un ejemplo de la característica $U_r = f(I_d)$]

Las tensiones residuales son:

5.3.1 la tensión residual máxima en caso de descarga en régimen de efluviio;

5.3.2 la tensión residual en caso de descarga en régimen de arco;

5.3.3 la corriente de descarga máxima en régimen de efluviio para la cual la tensión residual en caso de descarga en régimen de efluviio pasa a ser la tensión residual de descarga en régimen de arco.

5.4 *Características utilizadas para designar los tipos de descargador según el tipo de sobretensión que ha de limitarse*

5.4.1 En caso de sobretensiones a frecuencias industriales de 15 a 62 Hz, se adoptan los valores nominales conformes con los § 5.1.1, 5.2.1 y 5.3.3 anteriores.

Las características de los tipos de descargadores normalizados se indican en el cuadro 1/K.12.

CUADRO 1/K.12

Tipo normalizado N.º	Características		
	Tensión continua nominal de cebado (véase el § 5.1.1)	Corriente alterna nominal de descarga (valor eficaz) (véase el § 5.2.1)	Corriente máxima de descarga en régimen de efluviio (véase el § 5.3.3)
1	Elección del valor nominal teniendo en cuenta el § 4.2	5 A	De menos de 0,5 A a 1,5 A
2		20 A	
3		50 A	

5.4.2 En caso de sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, se adoptan los valores conformes con los § 5.1.1 y 5.2.2 anteriores.

El cuadro 2/K.12 indica las características de los tipos de descargadores normalizados.

CUADRO 2/K.12

Tipo normalizado N.º	Características		
	Tensión continua nominal de cebado (véase el § 5.1.1)	Corriente nominal de choque de descarga (véase el § 5.2.2)	Tensión de cebado por choque (véase el § 5.1.2)
4	Elección del valor nominal teniendo en cuenta el § 4.2	2,5 kA	Para los límites superiores, véanse los cuadros 3/K.12 y 4/K.12
5		10 kA	
6		20 kA	

5.4.3 En caso de sobretensiones producidas en la misma instalación de telecomunicación, debido a los efectos de las líneas de alta tensión de frecuencia industrial o a las descargas atmosféricas, se adopta una combinación de los valores correspondientes a los tipos normalizados 1 y 4 (tipo normalizado 1-4), 2 y 5 (tipo normalizado 2-5) o 3 y 6 (tipo normalizado 3-6).

5.5 Tolerancias en los valores nominales

5.5.1 Los valores límite superiores e inferiores (tolerancia) de la tensión continua de cebado están determinados por la condición expuesta en el § 4.2. Deben respetarse estos límites, incluso después de varias descargas, de los valores especificados en los cuadros 1/K.12 y 2/K.12 respectivamente.

5.5.2 Para los demás valores, basta indicar los valores límite superior o inferior, según la característica considerada.

5.5.3 Los valores límite engloban las influencias del medio ambiente y de la ubicación (temperatura ambiente, polaridad, luz).

Observación – En el § 8 (*Prueba de los valores tipos*) se dan indicaciones sobre los valores límite.

6 Información general sobre las pruebas

6.1 Las pruebas comprenden:

6.1.1 Pruebas de los valores tipo según el § 8, para la comprobación de las características eléctricas y mecánicas de un tipo dado de descargador.

6.1.2 Pruebas de recepción según el § 9, para la comprobación de muestras tomadas al azar en un lote.

6.2 La comprobación de las características eléctricas debe efectuarse a base de métodos estadísticos, ya que los fenómenos físicos de las descargas en un medio gaseoso sufren variaciones estadísticas. Cada prueba debe realizarse con varias muestras.

6.3 En el caso de descargadores con varios espacios de descarga en un mismo recinto de descarga, la comprobación de sus características eléctricas se efectúa por separado para cada espacio de descarga.

6.4 La comprobación de las características mecánicas comprende el control de las dimensiones y la solidez de las juntas de las cubiertas o placas de contacto fijadas al descargador. Puede ser útil una prueba de resistencia a la corrosión si los descargadores han de utilizarse en un medio muy húmedo.

6.5 Los descargadores pueden someterse a pruebas de choque térmico, si los usuarios lo desean.

7 Tensiones y corrientes de prueba normalizadas

7.1 Para comprobar la tensión de cebado por choque (§ 5.1.2), se utiliza una tensión de choque con una forma de onda 5/65 y un valor de cresta de 5 kV (definición de la forma de onda según [1]).

En lugar de esa tensión de choque, puede utilizarse una tensión que aumente linealmente hasta 5 kV en 5 μ s (pendiente convencional de la tensión impulsiva del frente de onda de 1 kV/ μ s).

La figura 1/K.12 muestra un ejemplo de montaje de medida para una pendiente convencional de la tensión del frente de onda de 1 kV/ μ s.

Los dispositivos de prueba para tensiones de choque deben tener en cuenta los fenómenos transitorios que producen los impulsos, como la frecuencia de corte del dispositivo de medida, la terminación sin reflexión de la línea de medida, etc.

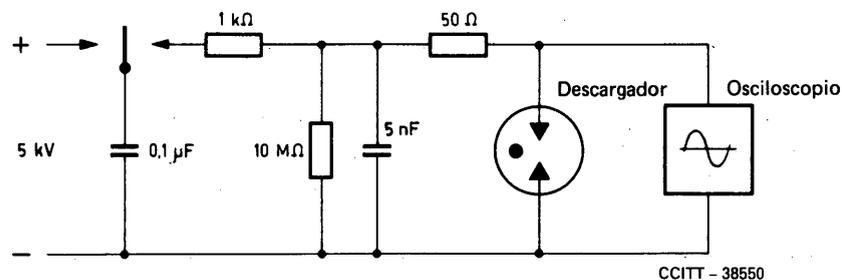


FIGURA 1/K.12

Montaje de medición que produce una pendiente convencional del frente de onda de tensión de 1 kV/ μ s

7.2 Para la prueba de carga con corrientes de choque (§ 5.2.2) se emplea una corriente de impulso de choque con una forma de onda 8/20 y un valor de cresta según el cuadro 2/K.12 (definición de la forma de onda según [1]).

7.3 Para la prueba de tensión continua de cebado, debe utilizarse una tensión que aumente lentamente, a un ritmo máximo de 10 kV/s.

8 Prueba de los valores tipo

8.1 Tensiones de cebado

8.1.1 Tensión continua de cebado

Antes de realizar las pruebas descritas en los § 8.2.1 y 8.2.2, se hacen cuatro mediciones (dos para cada polaridad) en todos los ejemplares sometidos a prueba. La evaluación de los resultados se hace según el cuadro 3/K.12.

CUADRO 3/K.12

Prueba descrita en el	Tensión continua de cebado		Porcentaje de valores medidos que han de respetar la tolerancia (véase el § 6.2)
	Valores nominales de la tensión continua (véase el § 5.1.1)	Valores límite superiores de la tensión continua de choque a 1 kV/μs (véase el § 5.5.1)	
§ 8.1.1	Elección del valor nominal teniendo en cuenta el § 4.2	± 20% a)	95% b)
§ 8.2.1			80% b)
§ 8.2.2			

a) Puede modificarse esta tolerancia en las condiciones indicadas en el § 4.2 de la presente Recomendación.

b) Todo descargador de un lote dado sometido a las pruebas que no satisfaga las tolerancias debe, no obstante, cebarse durante la prueba.

8.1.2 Tensión de cebado por choque

Al aplicar la tensión de choque especificada en el § 7.1, se mide diez veces (cinco en cada sentido) la tensión de cebado por choque de 20 descargadores que hayan pasado con éxito las pruebas descritas en el § 8.1.1, evaluándose los resultados según se muestra en el cuadro 4/K.12.

CUADRO 4/K.12

Prueba descrita en el	Tensión de cebado por choque		Porcentaje de valores medidos que han de respetar la tolerancia (véase el § 6.2)
	Valores nominales (véase el § 5.1.1)	Valores límite superiores a 1 kV/μs (véase el § 5.5.2)	
§ 8.1.2	< 150 V	< 1 kV	80% a)
	150 a 500 V	Entre 1 y 2 kV	
	500 a 1500 V	Entre 2 y 3 kV	

a) Todo descargador de un lote dado sometido a las pruebas que no satisfaga las tolerancias debe, no obstante, cebarse durante la prueba.

8.1.3 Si la cubierta del descargador es transparente, estas pruebas se harán a oscuras tras haber mantenido el descargador en la oscuridad un tiempo suficiente (que se determinará según el tipo de descargador de que se trate). Es conveniente dejar un lapso de varios segundos entre dos mediciones sucesivas.

8.2 Corrientes de descarga

8.2.1 Corriente alterna de descarga

La prueba se efectúa con la corriente alterna nominal de descarga (con una tolerancia de $\pm 10\%$) en 20 descargadores que hayan pasado con éxito las pruebas descritas en el § 8.1.1. Esta prueba se realiza como sigue: se aplica la corriente a cada descargador diez veces seguidas durante 1 segundo, a intervalos de 3 minutos; tras enfriamiento, se mide la tensión continua de cebado y se evalúan los resultados según el cuadro 3/K.12.

Si el usuario lo estima necesario para la protección contra las descargas atmosféricas, se efectúan asimismo las pruebas descritas en el § 8.1.2 y se evalúan los resultados según el cuadro 4/K.12.

8.2.2 Corriente de choque de descarga

La prueba se efectúa con la corriente nominal de choque de descarga (respetando las tolerancias indicadas en [1]), con 20 descargadores que hayan sufrido las pruebas descritas en los § 8.1.1 y 8.1.2. La operación se desarrolla como sigue: la corriente de choque se aplica a cada descargador diez veces (cinco pruebas por polaridad) a intervalos de tres minutos; previo enfriamiento, se mide la tensión continua de cebado y la tensión de cebado por choque y se evalúan los resultados según los cuadros 3/K.12 y 4/K.12.

8.2.3 Características de destrucción

El fabricante debe indicar esta característica para cada tipo de descargador, junto con la dispersión de los valores medidos. Si el usuario desea que el fabricante verifique esta característica, bastará hacer una prueba en un punto de la curva con tres descargadores. Si un descargador queda destruido durante esta prueba con corriente alterna, deberá quedar en cortocircuito.

8.3 Característica tensión/corriente de descarga

Como indica el esquema de la figura 2/K.12, los valores indicados en los § 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3 deben medirse con otros tres descargadores que hayan pasado con éxito las pruebas descritas en el § 8.1.1. A tal efecto, se aplica una corriente alterna de frecuencia industrial durante tres segundos. El valor eficaz de la tensión aplicada debe estar comprendido entre el doble y el triple de la tensión nominal de cebado, y la intensidad debe limitarse a unas dos veces el valor de la intensidad de la corriente de descarga en régimen de efluvo, indicado en el cuadro 1/K.12.

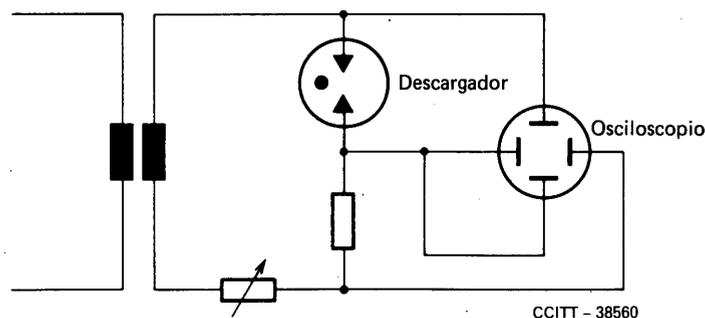


FIGURA 2/K.12

Montaje de medición para las características indicadas en los § 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3

Se registrarán los resultados mediante un osciloscopio asociado a una cámara cuyo obturador se abrirá antes de aplicar la corriente y se mantendrá abierto durante los tres segundos de la prueba.

8.3.1 En caso de descarga en régimen de efluvo, la tensión residual es superior, en general, a 60 V. Su valor máximo no debe rebasar 1,3 veces el valor de la tensión continua de cebado.

8.3.2 La tensión residual, en caso de descarga en régimen de arco, debe ser inferior a 25 V.

8.3.3 La corriente de descarga máxima, en caso de descarga en régimen de efluvo (paso del régimen de efluvo al régimen de arco), no debe rebasar el valor indicado en el cuadro 1/K.12.

Los límites superiores de estos valores deben determinarse a base de oscilogramas (véase asimismo el apéndice III).

8.4 Tensión transversal de los descargadores con tres electrodos o más

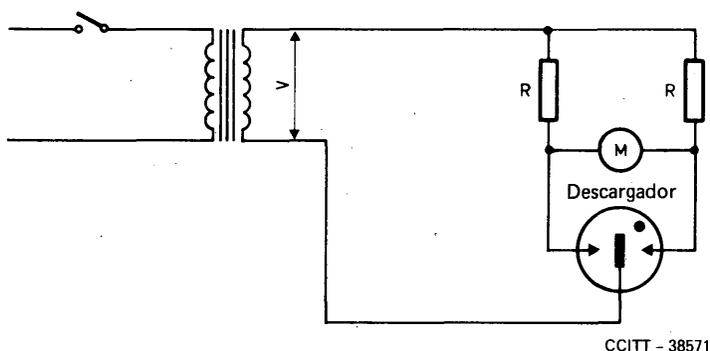
Deben efectuarse las siguientes mediciones entre los pares de electrodos conectados a los dos conductores de un mismo circuito y el electrodo común de toma de tierra.

Las mediciones deben efectuarse con diez descargadores que hayan pasado con éxito las pruebas según los § 8.1.1 y 8.1.2.

8.4.1 Tensión transversal con corriente alterna

Debe medirse el valor medio de la tensión transversal cuando una descarga de corriente alterna atraviese simultáneamente los dos electrodos de descarga. Deben hacerse las mediciones con un dispositivo semejante al representado en la figura 3/K.12. El valor eficaz de la tensión aplicada debe estar comprendido entre el doble y el triple de la tensión continua nominal de cebado y el valor de las resistencias R debe ser el apropiado para que la corriente de cresta sea aproximadamente igual al doble de la corriente máxima de descarga en régimen de efluvo (paso del régimen de efluvo al régimen de arco, véase el § 8.3.3). El tiempo de la descarga no debe ser superior a tres segundos.

El valor máximo de la tensión media transversal no debe rebasar los 45 V para nueve de los diez descargadores probados.



Observación – El voltímetro M debe tener una resistencia por lo menos igual a 20 k Ω y una desviación a tope de escala de 100 V, aproximadamente. El instrumento deberá ser de bobina móvil con rectificador y estará calibrado para permitir la lectura de los valores medios.

Si el instrumento está calibrado para la lectura de los valores eficaces de las tensiones sinusoidales, se multiplican los valores leídos por 0,9 para obtener el valor medio.

FIGURA 3/K.12

Montaje de medición para las características de descargadores de tres electrodos que se indican en el § 8.4.1 (tensión transversal durante una descarga de corriente alterna)

8.4.2 Tensión transversal en régimen de impulsos

Debe medirse la duración de la tensión transversal mientras se aplica simultáneamente a ambos electrodos de descarga una tensión impulsiva cuyo frente de onda tenga una pendiente convencional de 1 kV/ μ s. Puede efectuarse la medición con un dispositivo semejante al representado en la figura 4/K.12. La diferencia de tiempo entre el cebado del primer electrodo y el del segundo no deberá exceder de 0,2 μ s para nueve de los diez descargadores probados.

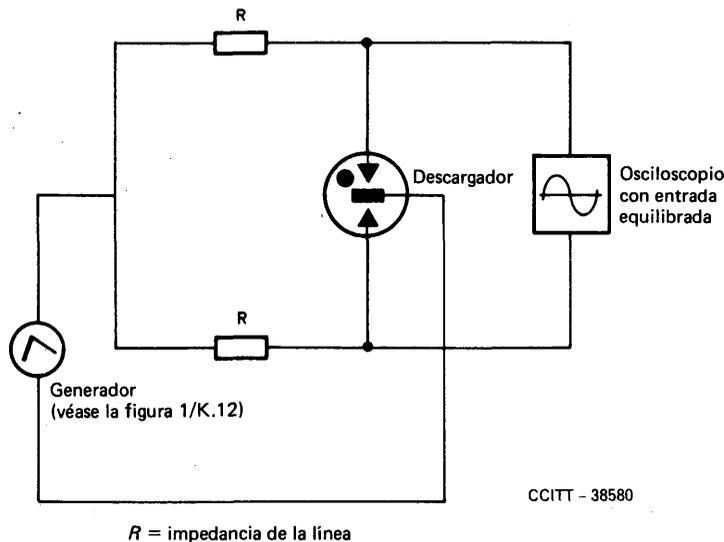


FIGURA 4/K.12

Montaje de medición para las características de descargadores de tres electrodos que se indican en el § 8.4.2 (tensión transversal durante una descarga de choque)

8.5 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento debe medirse con un equipo adecuado a una tensión inferior a la tensión continua de cebado de los descargadores, después que éstos hayan permanecido durante 24 horas en una atmósfera húmeda (a la temperatura ambiente y con una humedad relativa del orden del 83%, por ejemplo, en una atmósfera saturada, sobre una disolución saturada de cloruro de potasio). La resistencia de aislamiento no debe ser inferior a 10^8 ohmios, tras la ejecución de las pruebas descritas en los § 8.2.1 y 8.2.2. Las mediciones de resistencia de aislamiento deben hacerse con los mismos descargadores sometidos a prueba.

8.6 Capacidad

Debe medirse la capacidad propia de tres descargadores; debe ser inferior a 10 pF.

8.7 Radiación

La radiación que emite toda sustancia radiactiva utilizada para la preionización de los espacios de descarga debe respetar los límites indicados como admisibles en los reglamentos sobre la protección contra las radiaciones, vigentes en el país del fabricante y en el del usuario. Esto se aplica tanto a descargadores individuales como a un lote de descargadores (por ejemplo, en caso de embalaje en cajas para su transporte, almacenamiento, etc.).

No es necesaria una prueba tipo si el fabricante indica la naturaleza y cantidad de la sustancia radiactiva, así como la radiación que emite.

8.8 Propiedades mecánicas

Puede efectuarse una prueba de las propiedades mecánicas según las indicaciones generales expuestas en los § 4.1, 6.4 y 6.5.

9 Pruebas de recepción

El número de descargadores sometido a pruebas de recepción varía según la importancia del número de unidades del lote considerado.

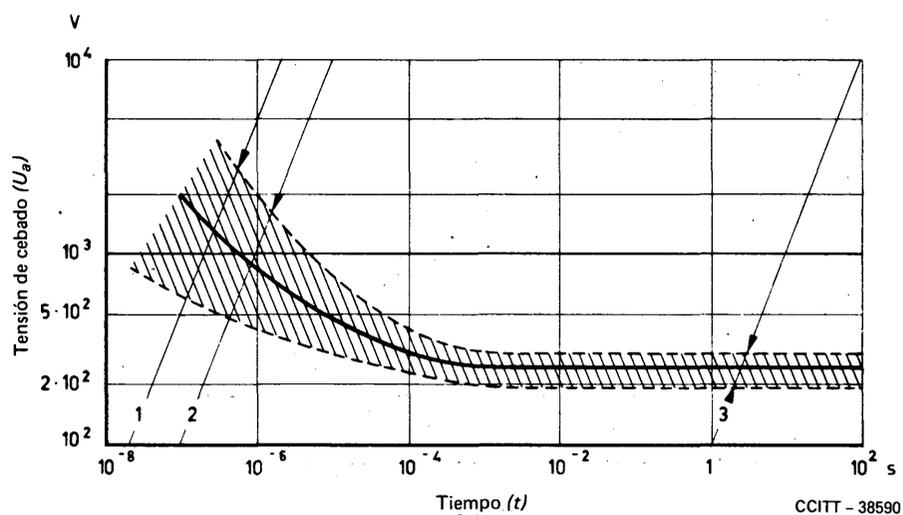
Se indican los valores siguientes, a título de orientación:

<i>Lote</i>	<i>Prueba de recepción</i>
hasta 1 000 descargadores	como mínimo 20 descargadores
hasta 10 000 descargadores	como mínimo 50 descargadores
hasta 50 000 descargadores	como mínimo 100 descargadores

Las pruebas de recepción comprenden la medición de la tensión continua de cebado dos veces para cada muestra. La evaluación de los resultados se realiza de acuerdo con los cuadros 3/K.12 y 4/K.12.

APÉNDICE I

Característica de cebado $U_a = f(t)$ (véase el § 5.1)



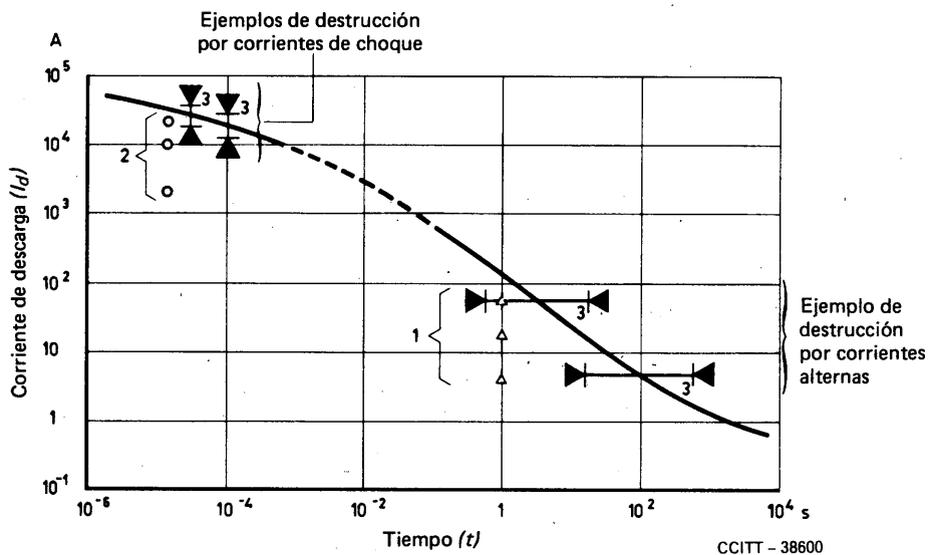
1. Ejemplo con 5 kV/ μ s } Prueba según se indica
 2. Ejemplo con 1 kV/ μ s } en el § 8.1.2,
 valor límite superior

3. Ejemplo con 100 V/s } Prueba según se indica
 en el § 8.1.1,
 tolerancia

FIGURA I-1/K.12

APÉNDICE II

Corriente de descarga según los § 5.2.1, 5.2.2, y curva de destrucción $I_d = f(t)$ según el § 5.2.3



Carga

- 1. Prueba con corrientes alternas de descarga, según se especifica en el § 8.2.1 Δ
- 2. Prueba con corrientes de choque, según se especifica en el § 8.2.2 \circ

Destrucción

- 3. Prueba de destrucción mecánica, según se especifica en el § 8.2.3



Margen de dispersión en caso de corrientes de choque

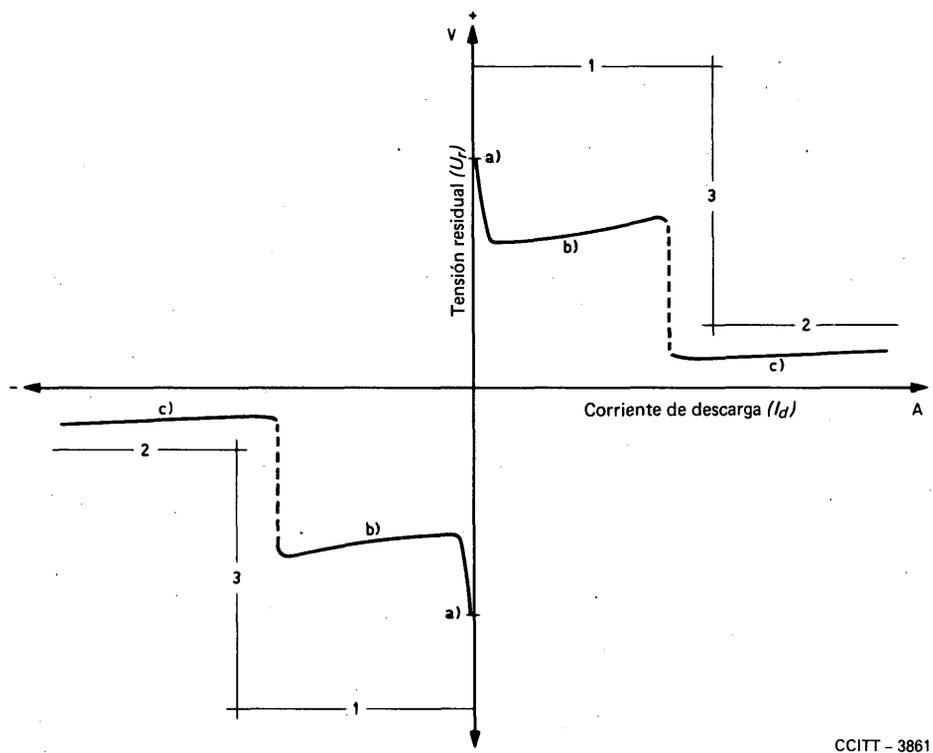


Margen de dispersión en caso de corrientes alternas

FIGURA II-1/K.12

APÉNDICE III

Curva de tensión/corriente de descarga $U_r = f(I_d)$ (véase el § 5.3)



CCITT - 38611

- a) Tensión de cebado
- b) Tensión residual en caso de descarga en régimen de efluvio (§ 5.3.1)
- c) Tensión residual en caso de descarga en régimen de arco (§ 5.3.2)

Límites superiores

- 1. Prueba según se especifica en el § 8.3.1
- 2. Prueba según se especifica en el § 8.3.2
- 3. Prueba según se especifica en el § 8.3.3

FIGURA III-1/K.12

Referencias

- [1] Publicación 60/1962 de la CEI.

TENSIONES INDUCIDAS EN LOS CABLES DE CONDUCTORES
CON AISLAMIENTO DE PLÁSTICO

Según [1] se admite en los conductores de un cable de telecomunicaciones, cuando todos los circuitos terminan en transformadores, una fuerza electromotriz longitudinal inducida, provocada por una avería en una línea de energía cercana, que no sea superior al 60% de la tensión aplicada en fábrica con el fin de determinar la rigidez dieléctrica entre los conductores y la cubierta del cable. Para los cables cuyos conductores están aislados con papel, este valor es, por lo general, de 1200 V eficaces (60% de 2000 V). En las *Directrices* no se dan indicaciones sobre la frecuencia de aparición y la duración tolerable de una tensión de este valor. A fin de evitar al personal encargado del mantenimiento de las líneas los peligros inherentes a esas tensiones, es preciso observar las disposiciones relativas a la seguridad del personal indicadas en [2].

Los cables con aislamiento de plástico presentan una rigidez dieléctrica mucho mayor que los cables de conductores con aislamiento de papel. Esta rigidez no es alterada por las tensiones mecánicas a que se somete el cable durante la instalación. No cabe esperar, pues, que se produzcan perforaciones del aislante entre los conductores y la cubierta metálica mientras la fuerza electromotriz longitudinal inducida sea inferior a la tensión de perforación verificada en fábrica. Se obtiene un margen de seguridad suficiente manteniendo las tensiones inducidas en un 60% de la tensión fijada en las especificaciones y utilizada para comprobar la rigidez dieléctrica del cable; evidentemente, esta tensión está relacionada con la tensión de perforación.

La construcción de manguitos y empalmes de una rigidez dieléctrica equivalente a la del aislante entre los conductores y la cubierta metálica del cable sólo da lugar a un gasto suplementario muy reducido. Los transformadores y equipos terminales han de estar protegidos si su rigidez dieléctrica no responde a las condiciones exigidas.

Si las líneas de energía que provocan las fuerzas electromotrices longitudinales pertenecen a la categoría de las líneas de gran fiabilidad definidas en las *Directrices*, sólo existe una probabilidad ínfima de que, en el cable de telecomunicaciones, dichas tensiones de corta duración aparezcan cuando el personal esté en contacto con el mismo. El riesgo que corre el personal es muy reducido si se extreman las precauciones al aplicar las disposiciones relativas a la seguridad del personal encargado del mantenimiento de las líneas telefónicas que puedan ser objeto de sobretensiones elevadas por efecto de las líneas de energía.

En el caso de los circuitos por cable que no terminan en transformadores, las condiciones indicadas son igualmente válidas si, a fin de evitar las sobretensiones en los equipos de telecomunicaciones, se instalan descargadores en los extremos de los circuitos.

Por tales razones, el CCITT formula por unanimidad la siguiente Recomendación :

1 Se pueden construir cables de telecomunicación cuyos conductores estén aislados entre sí y de la cubierta metálica por medio de plásticos de elevada rigidez dieléctrica. En tales cables, en caso de avería que afecte a una línea de energía eléctrica cercana, se puede admitir una f.e.m. longitudinal inducida no superior al 60% del valor de la tensión de prueba aplicada entre los conductores y la cubierta metálica del cable para verificar su rigidez dieléctrica, siendo esta tensión de prueba, fijada en las especificaciones del cable, función de la tensión de perforación cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:

- a) los circuitos de estos cables terminan en sus extremos y en sus puntos de derivación en transformadores, o están provistos de descargadores;
- b) los equipos, empalmes y cabezas de cable conectados a los conductores deben estar realizados de forma que resistan la misma tensión que la utilizada para verificar el aislamiento entre los conductores y la cubierta metálica del cable, salvo cuando los transformadores mencionados en a) deban estar protegidos con descargadores porque su rigidez dieléctrica no corresponde a las condiciones exigidas;
- c) la línea eléctrica inductora debe ser una línea eléctrica de gran fiabilidad, según la definición dada en [3];
- d) el personal que trabaja en cables de telecomunicación debe observar las disposiciones relativas a la seguridad del personal indicadas en [2].

2 Si los circuitos de tal cable están conectados directamente a los equipos de telecomunicación, es decir, sin transformadores, si no están provistos de descargadores y si se respeta la condición enunciada en c) del § 1 anterior, se admite una fuerza electromotriz longitudinal inducida de 650 V.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo IV, sección 2, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] *Ibid*, capítulo XX.
- [3] *Ibid*, capítulo preliminar, § 3.2.3.

Recomendación K.14 (Ginebra, 1972)

EMPLEO DE UNA PANTALLA METÁLICA EN CABLES DE CUBIERTA DE PLÁSTICO

El revestimiento metálico de un cable le provee de una pantalla electrostática y en cierto grado magnética. La cubierta de plástico no tiene propiedades intrínsecas de pantalla. Algunos cables de cubierta de plástico (por ejemplo, los de núcleo con aislamiento de papel) llevan una pantalla metálica como barrera antihumedad, que generalmente tiene la forma de una cinta de aluminio dispuesta longitudinalmente, y tiene las mismas propiedades de apantallamiento que un blindaje de metal no férreo, de igual conductividad longitudinal. Sin embargo, la cinta tiene que estar conectada en sus extremos a los sistemas de toma de tierra de la central telefónica, y/o a puntos de toma de tierra convenientemente situados, como por ejemplo, a las cubiertas metálicas de los cables, en toda su longitud. También es importante que, en los puntos de empalme, la cinta se prolongue mediante conexiones de muy baja resistencia. Aunque el efecto de pantalla de la cinta sea quizá reducido a 50 Hz, puede ser importante en las frecuencias que originan ruidos interferentes. La presencia en el cable de una pantalla reduce asimismo la inducción causada por las componentes de alta frecuencia de las corrientes transitorias originadas por la conmutación en las líneas eléctricas y por el rayo. El creciente empleo de equipos de telecomunicación miniaturizados de muy pequeña capacidad térmica acrecienta la importancia de estas tensiones transitorias inducidas.

En vista de las anteriores consideraciones y de la experiencia adquirida en el uso de cables telefónicos de cubierta de plástico,

el CCITT recomienda:

1 Puesto que los cables de cubierta de plástico y sin pantalla dan satisfacción para el enlace entre los abonados y las centrales, pueden seguirse utilizando en los lugares en que no haya ferrocarriles electrificados que funcionen con corriente alterna. Sin embargo, siempre hay que tener en cuenta el riesgo de interferencia que puede existir cerca de los ferrocarriles electrificados y especialmente de aquellos cuyas locomotoras están equipadas de dispositivos controlados por tiristores. También hay que tener en cuenta eventuales interferencias por los transmisores radioeléctricos que trabajan en la misma gama de frecuencias que los circuitos encaminados por el cable de cubierta de plástico.

2 Los cables interurbanos y de enlace estarán provistos de una pantalla que puede ser una barrera antihumedad con cinta de aluminio. Los cables provistos de una pantalla de conductividad equivalente aproximadamente a la mitad de la conductividad del cable con cubierta de plomo, cuyo núcleo tiene el mismo diámetro, han dado completa satisfacción en donde no hay riesgos graves de inducción magnética.

3 Si un cable de cubierta de plástico está provisto de una pantalla de conductividad equivalente a la de un cable con cubierta de plomo, se comprueba que, en presencia de inducción, podrá utilizarse el cable exactamente en las mismas circunstancias que el cable con cubierta de plomo.

4 Si el efecto producido por la pantalla especificado en los § 2 y 3 anteriores no basta para limitar a valores admisibles la inducción a frecuencias industriales o a sus armónicos, por las líneas eléctricas o las vías férreas electrificadas cercanas, se podrá mejorar este efecto de pantalla aumentando:

- 4.1 la inductancia de la cubierta metálica, si es necesario, por medio de un enrollamiento con cintas de acero;
- 4.2 la conductividad de la pantalla existente, insertando cintas o hilos metálicos suplementarios colocados bajo la misma.

También puede ser necesario mejorar el efecto reductor si hay un riesgo de ruido interferente en la cercanía de las vías férreas electrificadas equipadas con dispositivos controlados por tiristores.

5 La pantalla tendrá que estar conectada a los sistemas de toma de tierra de los centros de telecomunicación. En lo que respecta a los cables de abonado, el extremo alejado debe estar conectado a una toma de tierra adecuada. Es importante asimismo que en los empalmes del cable esté asegurada la continuidad de la cinta por conexiones de baja resistencia.

6 Teniendo en cuenta el aumento del número de instalaciones eléctricas y el nivel de los armónicos debido a las nuevas técnicas, cabe esperar de ello una agravación de los efectos de inducción. A este respecto, puede revelarse muy útil mejorar el efecto de pantalla de los cables de cubierta de plástico como ya se ha indicado.

7 Si hay que tender cables en zonas en que exista el riesgo de recibir descargas atmosféricas, se llama la atención sobre la importancia de la pantalla metálica y de su construcción para la protección de los cables contra el rayo, del mismo modo que sobre la importancia de las interconexiones de la pantalla con otras estructuras [1].

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación*, capítulo 4, § 2.1, UIT, Ginebra, 1974, 1978.

Recomendación K.15 (Ginebra, 1972)

PROTECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEALIMENTACIÓN Y DE LOS REPETIDORES DE LÍNEA CONTRA EL RAYO Y LAS INTERFERENCIAS DEBIDAS A LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS PRÓXIMAS

Recomendación preliminar

Para reducir los efectos de las interferencias de origen externo sobre el funcionamiento de la telealimentación de los repetidores, el CCITT recomienda que el sistema de telealimentación de los repetidores se establezca siempre que sea posible de forma que el circuito por el que circulen las corrientes de telealimentación, habida cuenta de los órganos a él conectados, se mantenga simétrico con relación a la cubierta y a tierra, y no ofrezca trayectos de baja impedancia a las corrientes longitudinales.

Introducción

La presencia de componentes que sólo resisten sobretensiones moderadas, en particular la de elementos semiconductores (transistores, etc.) en los equipos de telecomunicación, obliga a tomar medidas de protección contra las sobretensiones que pueden aparecer en sus terminales. Esto es conveniente, incluso si las sobretensiones rebasan ligeramente las tensiones de servicio, ya que aun así pueden perturbar el funcionamiento de estos elementos o incluso provocar su destrucción.

Además, el funcionamiento de los enlaces con repetidores puede verse perturbado por las fuerzas electromotrices inducidas por líneas eléctricas, siendo la perturbación una función del modo de explotación de estas líneas eléctricas y pudiendo existir hasta en ausencia de cualquier defecto en dichas líneas.

Pueden resultar dañados los componentes y, en especial, los elementos semiconductores de los aparatos que están directamente conectados a los conductores de las líneas de telecomunicación, por estar expuestos estos conductores, sea en cables o en líneas aéreas de hilo desnudo, a las sobretensiones debidas a las perturbaciones exteriores como, por ejemplo, la inducción magnética creada por líneas eléctricas o por descargas atmosféricas.

Los repetidores insertados en las líneas de telecomunicación entran en esta categoría de equipos. Como la telealimentación se hace por los conductores de los cables o de las líneas aéreas de hilo desnudo utilizados para la transmisión, las sobretensiones pueden llegar directamente a los terminales de los elementos semiconductores y dañarlos. Esto puede evitarse si se han previsto dispositivos de protección o se han diseñado los circuitos de forma apropiada para limitar las sobretensiones a valores admisibles, o impedir su aparición.

Las medidas de protección que han de tomarse dependen en parte:

- del valor de las fuerzas electromotrices que pueden producirse;
- de la constitución de la línea, sobre todo si se trata de cables de pares;
- de las disposiciones tomadas, en el conductor exterior de los pares coaxiales, en relación con la cubierta metálica del cable (potencial flotante o puesta a tierra);
- de la naturaleza de la telealimentación (corriente continua o corriente alterna).

Si las sobretensiones que aparecen en los conductores utilizados para la telealimentación se deben a la inducción magnética creada por líneas eléctricas próximas, se puede empezar por determinar sus valores por los métodos de cálculo indicados en las *Directrices*. Para establecer las medidas de protección requeridas, se necesitan cálculos suplementarios.

Si las sobretensiones se deben a las descargas atmosféricas, el cálculo de sus valores sólo da resultados aproximados. Hay, pues, que probar los dispositivos de protección previstos en el aparato de que se trate y en condiciones lo más parecidas posible a las condiciones reales.

Las medidas recomendadas a continuación responden a las exigencias enunciadas anteriormente. Estas medidas no pretenden ser completas dado que la técnica evoluciona constantemente; sin embargo, deben procurar al fabricante y al usuario de tales instalaciones un grado elevado de protección.

1 Métodos de cálculo

1.1 En principio, las *Directrices* [1] permiten el cálculo de la fuerza electromotriz longitudinal inducida en el circuito de telealimentación. El método de cálculo es válido, tanto en condiciones de funcionamiento normal como en caso de fallo en la línea eléctrica.

1.2 Para el cálculo suplementario de las tensiones y corrientes inducidas en un par coaxial, se partirá de la fuerza electromotriz longitudinal calculada según las indicaciones dadas en el § 1.1. Para este cálculo, se aconseja consultar la Recomendación K.16. (Véase asimismo la referencia [2].)

1.3 Para la evaluación de las tensiones y corrientes (valor de cresta de los impulsos de corta duración) que pueden aparecer en los circuitos de telealimentación como consecuencia de las descargas atmosféricas, se recomienda consultar el Manual citado en [3]. (Véase también la referencia [4].)

2 Valores límite de las sobretensiones

2.1 Tensiones longitudinales provocadas por la inducción magnética

En principio, no deben rebasarse los valores límite de las tensiones longitudinales inducidas indicados en [5] si no se tiene la seguridad de que el material (cables, conductores, equipos) es capaz de soportar tensiones más elevadas. Sin embargo, pueden admitirse límites más elevados si un examen previo de la rigidez dieléctrica del aislamiento de los conductores y de los equipos que les están conectados indica que no existe ningún riesgo de ruptura [6].

Si el equipo de telealimentación lleva permanentemente el conductor a un potencial elevado con relación a la cubierta metálica del cable, o con relación a tierra, hay que tener presente el hecho de que la tensión inducida se superpone a la tensión de telealimentación [7].

2.2 Sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas

Los valores límite admisibles de las tensiones de choque dependen en primer lugar de la rigidez dieléctrica del aislamiento de los conductores y de la de los equipos que les están conectados, a menos que se tomen medidas suplementarias (por ejemplo, en las instalaciones) para limitar las sobretensiones a valores inferiores a las tensiones de ruptura. Los límites admisibles en los terminales de los aparatos que comprenden elementos semiconductores dependen de las características de esos elementos.

3 Medidas de protección

3.1 Protección contra las sobretensiones

Los dispositivos de protección deberían estar concebidos para que cumplan su misión, cualquiera que sea el origen de las sobretensiones (inducción magnética, descargas atmosféricas, etc.).

3.1.1 Protección de los conductores en cables

Si se rebasan los valores límite indicados en los § 2.1 y 2.2, se recomienda la aplicación de una de las medidas de protección apropiadas. Por ejemplo, cuando se hacen nuevas instalaciones, puede aumentarse la rigidez dieléctrica del aislamiento. Asimismo se pueden utilizar cables con un factor de apantallamiento mejorado. Además, las tensiones se pueden limitar por descargadores y otros dispositivos limitadores de tensión. En el último caso, hay que velar por que el descargador deje de funcionar después de la desaparición de la sobretensión y por que el conductor de alimentación esté de nuevo en estado de servicio; otras medidas de protección tampoco deben excluirse.

En los cables compuestos, algunos de cuyos pares se utilizan para la telealimentación, se recomienda armonizar las medidas de protección para todos los conductores, a fin de que no se produzcan efectos desfavorables en el conjunto del cable.

3.1.2 *Protección de los repetidores*

Debe preverse una protección tanto a la entrada y a la salida del repetidor, como en el circuito de telealimentación.

Se recomienda que se incorporen a los repetidores equipados con dispositivos de estado sólido, desde su fabricación, dispositivos de protección que tengan por efecto impedir que las sobretensiones peligrosas lleguen a los terminales de los componentes sensibles, como, por ejemplo, los elementos semiconductores.

Si se utilizan descargadores para limitar las sobretensiones, hay que tener en cuenta que algunas sobretensiones cuya amplitud es inferior a la tensión de cebado son lo bastante elevadas para deteriorar ciertos componentes, por ejemplo los elementos semiconductores, transistores, etc. montados en los equipos. Se aconseja, pues, que se haga la protección interna asociando a los descargadores otros elementos de protección, por ejemplo, diodos Zener o filtros (que pueden existir ya en el equipo). La combinación de estos elementos en el interior del equipo constituye una protección integrada por cuyo efecto las sobretensiones, cualesquiera que sean su origen y su valor, se reducen gradualmente a un nivel suficientemente pequeño para no causar deterioros.

Puede ocurrir que la protección de los repetidores contra las tensiones inducidas permanentemente por las líneas eléctricas o las líneas de tracción requiera menos elementos y sea más económica si el conductor exterior de los pares coaxiales está a un potencial flotante, que si está puesto a tierra. Por el contrario, cuando el conductor exterior está conectado a tierra, el personal que trabaja en las líneas en pares coaxiales está mejor protegido contra un contacto accidental con el conductor interior que, al ser utilizado para la telealimentación, se eleva como consecuencia de ello a cierto potencial. Como cada una de las dos fórmulas presenta ventajas y desventajas, la elección dependerá de las necesidades de explotación.

3.2 *Medidas que han de tomarse para asegurar un funcionamiento satisfactorio del equipo en presencia de una tensión perturbadora inducida permanentemente en el cable*

Deben hacerse mediciones para controlar el funcionamiento satisfactorio del repetidor, en presencia de tensiones y de corrientes perturbadoras inducidas permanentemente por líneas eléctricas o líneas de tracción, en los conductores del cable. Las mediciones conciernen al caso en que las líneas eléctricas perturbadoras no presentan defectos. Los valores de las tensiones y corrientes inducidas pueden calcularse por los métodos de cálculo indicados en el § 1.1.

4 Prueba de los repetidores telealimentados equipados con dispositivos de estado sólido

4.1 *Consideraciones generales*

Conviene que las condiciones de prueba se asemejen lo más posible a las condiciones reales. Estas condiciones de prueba deben reproducir no solamente las condiciones de funcionamiento normal, sino también circunstancias accidentales, como el caso en que el conductor, que está en general aislado, entra accidentalmente en contacto con la cubierta metálica del cable o con la tierra.

4.2 *Prueba por medio de tensiones de choque*

Se recomienda que, cuando se proceda a la prueba por medio de tensiones y corrientes de choque, se apliquen las indicaciones contenidas en la Recomendación K.17. Conviene subrayar que, en lo que respecta a la elección de la amplitud de las ondas, no hay que contentarse con hacerla aumentar hasta el máximo, sino que también hay que hacer una prueba con una amplitud inferior a todas las tensiones de umbral de los dispositivos de protección (por ejemplo, la tensión de cebado de los descargadores). Así se pone de manifiesto la eficacia de los elementos de protección (por ejemplo, diodos) para sobretensiones cuya amplitud es reducida, pero cuya energía puede ser elevada.

En caso de que se utilicen descargadores, hay que asegurarse de que sus tensiones de cebado son inferiores a la rigidez dieléctrica entre los conductores y el chasis del equipo, para que no se produzca ninguna ruptura.

4.3 *Pruebas por medio de tensiones alternas*

Si los repetidores están alimentados por pares simétricos o por pares coaxiales, cuyos conductores exteriores están aislados del suelo o de la cubierta metálica del cable, se recomienda que se haga una prueba con una tensión alterna para cerciorarse de que la rigidez del aislamiento con relación a la tierra es superior a los valores admitidos en las *Directrices* para las tensiones debidas a la inducción magnética.

Para verificar el funcionamiento de los repetidores y su línea de alimentación en caso de cebado de los descargadores, en los terminales de esta línea de alimentación se aplica una corriente alterna que corresponda a las indicaciones dadas en la Recomendación K.17.

En las instalaciones en que cabe esperar una tensión inducida permanente debida, por ejemplo, a la corriente de tracción en alterna de ferrocarriles, hay que superponer a la corriente de alimentación una corriente alterna de la misma frecuencia (50 Hz, 60 Hz, 16 2/3 Hz) e intensidad que la producida en la sección de alimentación cuando la tensión inducida alcanza el valor indicado en [8]. Durante el paso de esta corriente, la modulación de zumbido debe ser suficientemente débil para que se respeten los límites que propone la Comisión de Estudio XV en su Cuestión 11, para las secciones de ruta.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, parte 3, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] KEMP (J.), SILCOOK (H.W.), STEWARD (C.J.): Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems; *Electrical Communication*, Vol. 40, N.º 2, pp. 255-266, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.º 2, pp. 254-263, 1965.)
- [3] Manual del CCITT *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicaciones*, UIT, Ginebra, 1974, 1978.
- [4] KEMP (J.): Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning; *Electrical Communication*, Vol. 40, N.º 3, pp. 381-385, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.º 3, pp. 398-402, 1965.)
- [5] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo IV, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [6] *Ibid*, capítulo IV, § 48.
- [7] *Ibid*, capítulo IV, § 53.
- [8] *Ibid*, capítulo IV, § 6, 7 y 35.

Recomendación K.16 (Ginebra, 1972)

MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO PARA EVALUAR LOS EFECTOS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS EN LOS REPETIDORES TELEALIMENTADOS DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN POR PARES COAXIALES

1 Resumen

En [1] se hace una exposición general que abarca todos los casos posibles de inducción magnética y que permite calcular, en función de la ubicación, la variación de las tensiones y corrientes inducidas cuando una ruta está expuesta, total o parcialmente, a la inducción. En la presente Recomendación se dan indicaciones generales para determinar un circuito equivalente que permite calcular con rapidez los valores máximos de tensión y de corriente en los conductores de un cable, cualesquiera que sean la longitud y la posición de la sección del cable expuesta a la inducción. Las capacidades concentradas y la impedancia de transferencia de este circuito equivalente deben elegirse adecuadamente. Sólo son necesarios aquí dos grupos de parámetros, según que la longitud de la sección expuesta sea menor, igual o mayor que la mitad de la sección de alimentación inductora. En el anexo A se indica la manera de pasar de las fórmulas complejas de [1] al cálculo simplificado.

Para verificar la utilidad de este circuito equivalente de aplicación general, en el anexo B se han calculado los valores máximos de las tensiones y de las corrientes inducidas en los conductores de un cable cuando los conductores exteriores están a potencial flotante, para algunos de los valores de aproximación que han sido objeto de una aplicación numérica en [1]. Estos valores se han presentado también en gráficos y puede comprobarse que el método de cálculo indicado en el citado anexo B proporciona resultados bastante precisos para una utilización práctica.

El anexo C muestra cómo debe modificarse el circuito equivalente en el caso de que los conductores exteriores de los pares coaxiales estén conectados a tierra en los extremos y en los puntos de amplificación.

En [2] figura también un método de cálculo análogo sobre los efectos de la inducción magnética de las líneas eléctricas en los sistemas de telecomunicación instalados en cables de pares coaxiales cuyo conductor exterior está aislado.

2 Ventajas del circuito equivalente

Entre las magnitudes de referencia dadas en las fórmulas exactas de [1] y [2], figura la tensión longitudinal inducida en el cable, que se puede calcular por los métodos usuales (véanse las *Directrices*):

Una vez conocida la tensión longitudinal inducida en el cable, estas fórmulas exactas permiten una evaluación numérica muy precisa de las tensiones y de las corrientes inducidas, pero los resultados obtenidos difieren de los valores reales debido a la limitada precisión con que se dan los parámetros fundamentales utilizados; no obstante, la experiencia demuestra que esta precisión es pequeña, ya que ciertos factores importantes – como la conductividad efectiva del suelo – no pueden determinarse con exactitud.

Dada la imprecisión inherente al cálculo de la tensión longitudinal inducida, utilizada como magnitud de referencia, en el desarrollo del cálculo se tolera un error suplementario de un 20% aproximadamente, como máximo. Se pueden, pues, simplificar considerablemente las fórmulas exactas para todas las aplicaciones (ya que en la práctica se tiene casi siempre $\Gamma \cdot l \leq 2$ y $\bar{\Gamma} \cdot l \leq 2$); entonces, para cada caso, se pueden encontrar circuitos equivalentes correspondientes (Γ y $\bar{\Gamma}$ son, respectivamente, las constantes de propagación de los circuitos *cubierta del cable-conductor exterior* y *conductor exterior-conductor interior*).

3 Enunciado del problema

Se pueden considerar circuitos equivalentes para los cuatro casos de inducción siguientes:

- 1) conductor exterior puesto a tierra, inducción uniforme;
- 2) conductor exterior con un potencial flotante, inducción uniforme (véase la figura A-1/K.16);
- 3) conductor exterior puesto a tierra, exposición parcial en una pequeña longitud en el centro de la sección;
- 4) conductor exterior con un potencial flotante, exposición parcial en una pequeña longitud en el centro de la sección (véase la figura A-2/K.16).

En la práctica, tener que considerar un solo circuito equivalente en vez de cuatro representa una gran simplificación. Además, es ventajoso poder definir por medio de la referencia [1] un circuito equivalente uniforme de aplicación general que proporcione indicaciones suficientemente precisas sobre los valores máximos de las tensiones y de las corrientes inducidas en un cable, incluso en el caso de aproximación parcial en cualquier lugar del recorrido entre la sección de alimentación y la línea inductora.

Como se verá en el anexo A, tal circuito equivalente se puede determinar por medio de los esquemas de circuitos objeto de las figuras A-1/K.16 y A-2/K.16. Este circuito está representado en la figura 2/K.16.

4 Parámetros empleados y notaciones

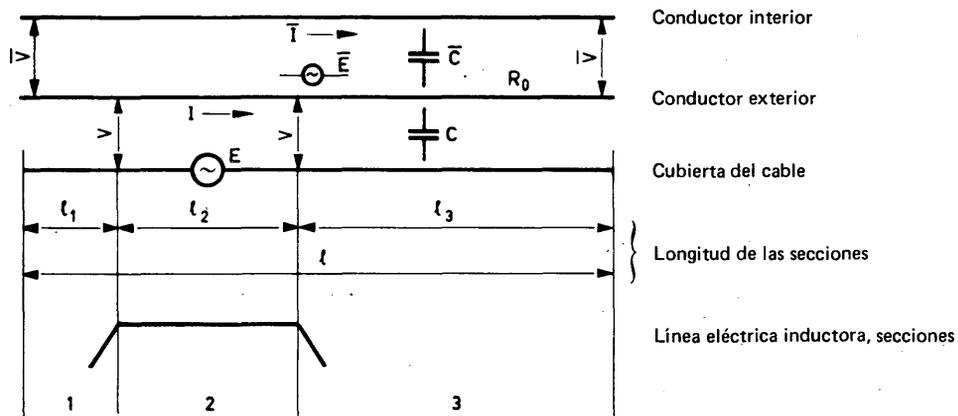
En la hipótesis general de que una sección de alimentación con los conductores exteriores puestos a un potencial flotante (es decir, sin unión a la cubierta del cable o a un sistema de puesta a tierra) esté expuesta a la inducción a lo largo de una sección de posición arbitrariamente elegida, se puede trazar la figura 1/K.16 siguiente que indica las convenciones y notaciones adoptadas.

Se utilizarán los símbolos E , C , V , I para las magnitudes relativas al circuito *cubierta del cable-conductor exterior*, y los símbolos \bar{E} , \bar{C} , \bar{V} , \bar{I} , para las magnitudes relativas al circuito *conductor exterior-conductor interior*.

5 Circuito equivalente de aplicación general

Las consideraciones expuestas en el anexo A permiten definir un circuito equivalente de aplicación general, que se representa en la figura 2/K.16.

Para todos los sistemas de comunicación a larga distancia cuyas secciones de alimentación estén, ya uniformemente expuestas a la inducción magnética, ya parcialmente expuestas a esta inducción en una parte central de corta longitud, el circuito equivalente permite determinar los valores máximos de las tensiones y corrientes inducidas en los dos circuitos de la figura 1/K.16 con un 10% aproximadamente de precisión. Cuando se aplica este circuito a otros casos de inducción, pueden producirse errores de hasta un 20% de los valores teóricos. Este porcentaje, sin embargo puede tolerarse en la práctica dada la imprecisión inherente a la determinación de la tensión longitudinal inducida E y en vista de que el método permite obtener resultados rápidos.



CCITT - 38620

- E = tensión longitudinal inducida en el cable (voltios)
 \bar{E} = tensión longitudinal en el par coaxial (voltios)
 l_2 = longitud de la sección expuesta (km)
 l_1, l_3 = longitudes de las secciones no expuestas (km)
 l = longitud de la sección de alimentación (km) = $l_1 + l_2 + l_3$
 V, \bar{V}, I, \bar{I} = valores máximos que hay que determinar para las tensiones y las corrientes inducidas
 C, \bar{C} = capacidades efectivas por unidad de longitud (F/km)

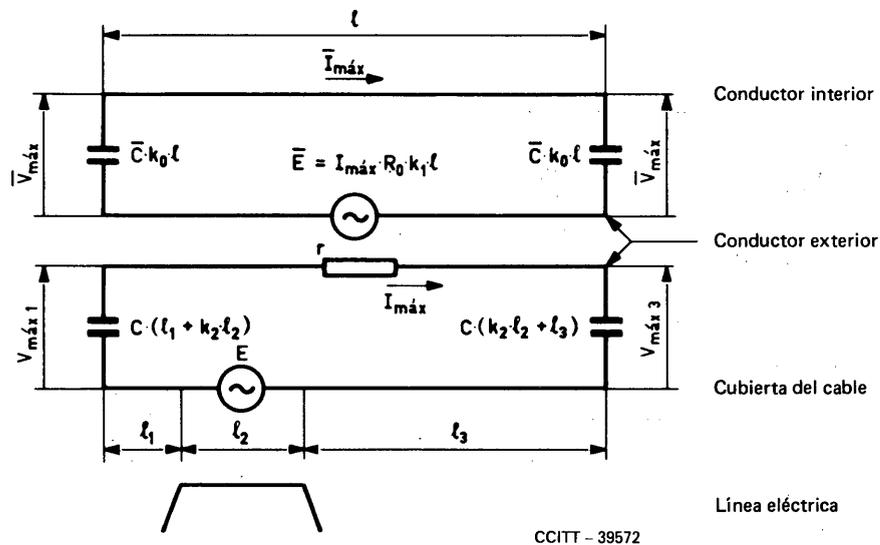
donde

$$C = \frac{C_{0s} \cdot l_s + C'_{0s}}{l_s} \text{ y } \bar{C} = \frac{C_{i0} \cdot l_s + C_f}{l_s}$$

- C_{0s} = capacidad por unidad de longitud entre el conductor exterior y la cubierta del cable (F/km)
 C'_{0s} = capacidad entre el conductor exterior y la cubierta del cable en el lugar donde eventualmente se encuentra un repetidor (F)
 C_{i0} = capacidad por unidad de longitud entre el conductor exterior y el conductor interior (F/km)
 C_f = total de todas las capacidades entre el trayecto de alimentación y el conductor exterior en los filtros de separación de alimentación de un repetidor (F)
 l_s = longitud de la sección de alimentación (km)
 Z_t = impedancia efectiva de transferencia por unidad de longitud (Ω /km) entre el circuito *cubierta del cable*–*conductor exterior* y el circuito *conductor exterior*–*conductor interior*
 R_0 = resistencia por unidad de longitud (Ω /km) del conductor exterior solamente
 R_i = resistencia por unidad de longitud (Ω /km) del conductor interior a la que se agrega un término correctivo correspondiente al valor, por kilómetro, de la resistencia de los filtros direccionales.

FIGURA 1/K.16

Representación esquemática de los circuitos



Valor de los parámetros k			
	k_0	k_1	k_2
para $l_2 \leq \frac{l}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
para $l_2 > \frac{l}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Observación – La resistencia r sólo hay que tenerla en cuenta en los casos de los conductores exteriores conectados a tierra (véase el anexo C).

FIGURA 2/K.16
Circuito equivalente

Las observaciones siguientes permiten comprender mejor el esquema simplificado:

- 1) Todos los elementos de las líneas de transmisión del caso real se suponen concentrados, lo que es aceptable para una línea abierta en los dos extremos y corta, teniendo en cuenta la longitud de onda que corresponde a 50 Hz.
- 2) En los circuitos no se toma en cuenta la resistencia de los conductores, salvo para constituir la impedancia de transferencia de un circuito al otro, en que se introduce ponderada por un coeficiente k_1 que depende de la longitud de la sección expuesta de modo que $k_1 < 1$.

Esto supone que los circuitos de la figura 2/K.16 están efectivamente abiertos (para las corrientes inducidas a 50 Hz) en los extremos de la sección de telealimentación. Puede no ser así, en particular si los equipos de alimentación contienen filtros y dispositivos de equilibrio para fijar los potenciales de los conductores interiores con relación a la tierra. El circuito *conductor interior-conductor exterior* está entonces cerrado con condensadores de valor elevado que deben agregarse en paralelo a Ck_0l en los dos extremos de la figura 2/K.16. En este caso, no puede ya desprejarse la resistencia en serie del conductor interior. En el anexo C se da un ejemplo de aplicación.

- 3) Las capacidades $C l_1$ y $C l_3$ corresponden a la terminación exacta más allá de la sección expuesta. La capacidad de la sección expuesta se introduce ponderada por un coeficiente k_2 que depende de la longitud de la sección expuesta de modo que $2 k_2 < 1$.
- 4) El esquema simplificado conduce a tensiones asimétricas en el circuito *cubierta-conductor exterior*. Permite determinar los valores máximos en los extremos. En la figura 3/K.16 se da una representación práctica de la tensión y de la intensidad a todo lo largo de la sección de telealimentación. La tensión varía poco fuera de la sección expuesta, y es nula cerca de su centro. La intensidad máxima se encuentra cerca del centro de la sección expuesta; la intensidad es evidentemente nula en los extremos, puesto que el circuito está abierto en el caso del conductor exterior a potencial flotante.

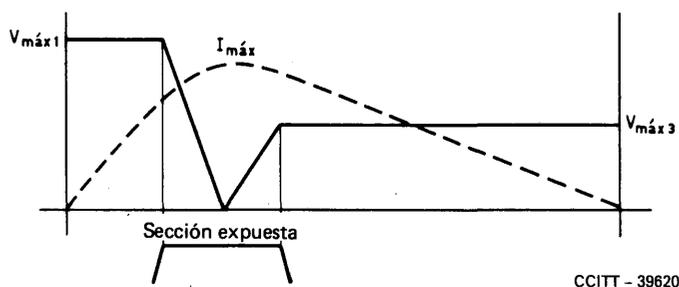


FIGURA 3/K.16

Tensión e intensidad a lo largo de la sección de telealimentación en el circuito *cubierta - conductor exterior*

- 5) En cambio, en el circuito *conductor interior-conductor exterior*, la tensión y la intensidad son mucho más simétricas. La capacidad está ponderada por un coeficiente k_0 que depende de la longitud de la sección expuesta, de modo que $2 k_0 < 1$.
- 6) El esquema simplificado permite, como se indica en el apartado 4), calcular en el circuito *conductor interior-conductor exterior* la tensión y la intensidad máximas. Según la naturaleza del circuito considerado estos valores pueden ser mucho más bajos que en el circuito *cubierta-conductor exterior*. En la figura 4/K.16 se da una representación práctica de la tensión y de la intensidad a todo lo largo de la sección de telealimentación. Las tensiones extremas son simétricas; la tensión nula y la intensidad máxima están siempre muy cerca del centro de la sección de telealimentación, cualquiera que sea la posición de la sección expuesta.

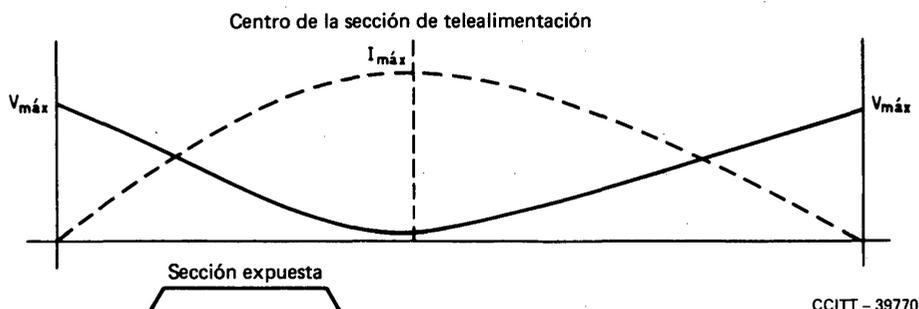


FIGURA 4/K.16

Tensión e intensidad a lo largo de la sección de telealimentación en el circuito *conductor interior - conductor exterior*

(a la Recomendación K.16)

Justificación de los parámetros que figuran en el circuito equivalente de aplicación general

A.1 Caso general

En [1] se dan sistemas de ecuaciones que contienen los parámetros complejos de transmisión de los dos circuitos de que se trata.

Estas ecuaciones permiten resolver completamente el problema en el caso de los circuitos abiertos en los dos extremos. Estas fórmulas desarrollan un número importante de términos en funciones hiperbólicas de parámetros complejos que complican su aplicación. Para llegar a un esquema muy sencillo que permita un cálculo elemental, se necesitan varias etapas de aproximación.

A.2 Primera etapa – Exposición simétrica – Cálculo completo

Las fórmulas generales se aplican a dos casos de exposición simétrica representados en las figuras A-1/K.16 y A-2/K.16. En el primer caso, la exposición abarca toda la sección de telealimentación; en el segundo, está limitada a una pequeña longitud en el centro de la sección. Las curvas resultantes de los cálculos figuran en la referencia [1] y se representan en la figura B-1/K.16.

A.3 Segunda etapa – Exposición simétrica – Esquema simplificado

Se tiene en cuenta la corta longitud eléctrica de las líneas y del ángulo de fase próximo a $\pm 45^\circ$ de los parámetros secundarios de propagación. Esto permite reemplazar los elementos distribuidos por condensadores y resistencias concentradas representadas en las figuras A-1/K.16 y A-2/K.16. Los coeficientes tales como $5/16$, $1/4$, $1/2$, $1/3$ provienen del desarrollo en serie de los términos hiperbólicos complejos.

Los circuitos equivalentes de las figuras A-1/K.16 y A-2/K.16 permiten efectuar el cálculo de las tensiones e intensidades máximas en dos casos de exposición simétrica; como estos casos son muy excepcionales, hay que relacionar con ellos el caso general de una exposición asimétrica de cualquier longitud. Tal es el objeto de la etapa siguiente.

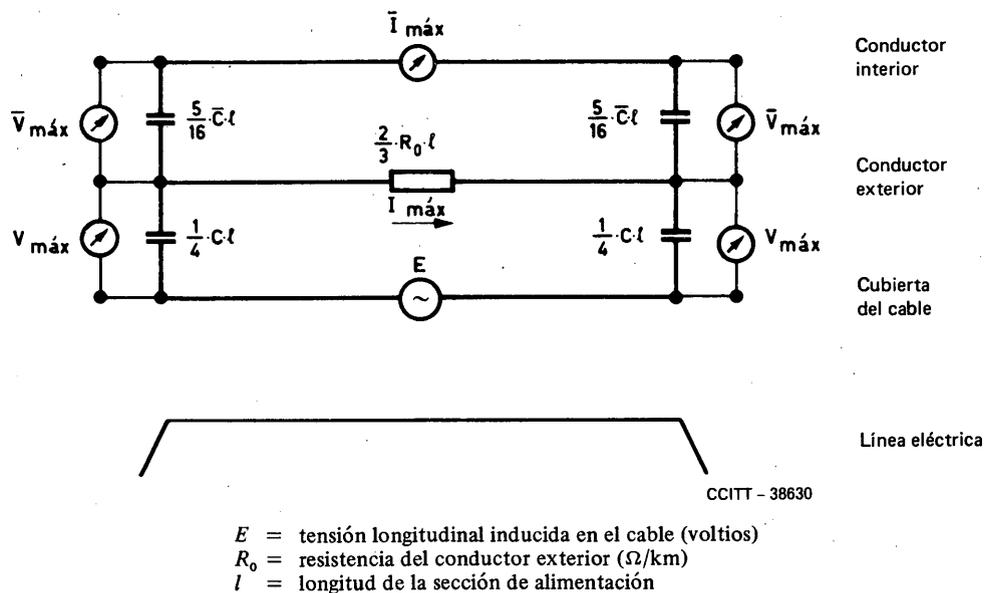
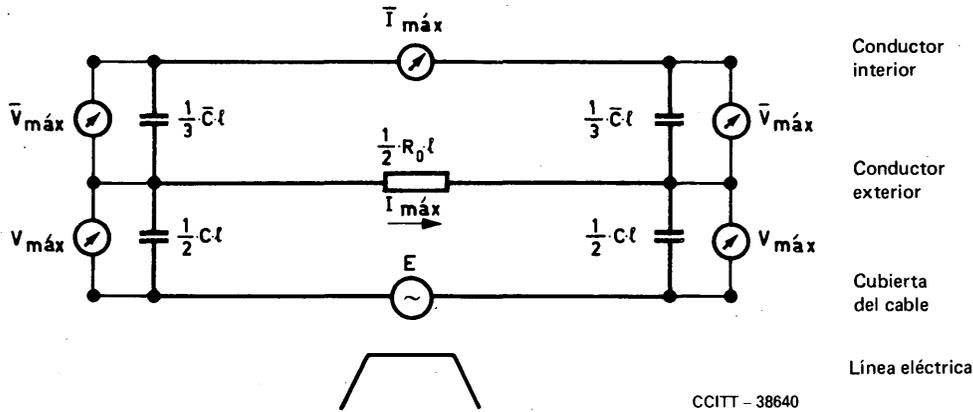


FIGURA A-1/K.16
Exposición uniforme a la inducción de la sección de alimentación



E = tensión longitudinal inducida en el cable (voltios)
 R_0 = resistencia del conductor exterior (Ω/km)
 l = longitud de la sección de alimentación

FIGURA A-2/K.16

Exposición parcial de un tramo corto en el centro de la sección

A.4 Tercera etapa – Caso general – Esquema simplificado

A.4.1 Circuito cubierta del cable-conductor exterior

En la sección expuesta 2, cuya longitud es l_2 , el circuito *cubierta del cable-conductor exterior* puede tratarse como una línea bifilar expuesta a una inducción uniforme terminada por las capacidades de línea de las secciones 1 y 3 adyacentes no expuestas.

Cuando la sección 2 es mucho más larga que las secciones 1 y 3 ($l_2 \gg l/2$), las distribuciones de corriente y de tensión dependen sobre todo de la sección propia expuesta y son casi completamente simétricas con relación al punto medio de la sección. Los valores efectivos de capacidad indicados en la figura A-1/K.16 para una línea bifilar expuesta a una inducción uniforme pueden aplicarse entonces a la sección 2. Así, para $l_2 \gg l/2$ se obtendrá el esquema representado en la figura A-3/K.16.

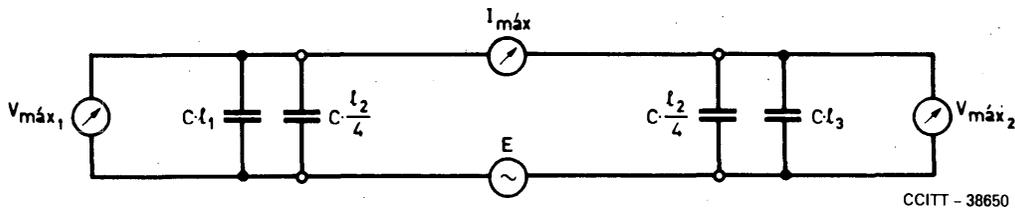


FIGURA A-3/K.16

Circuito cubierta del cable – conductor exterior en el caso de una sección expuesta larga

Por el contrario, cuando la sección expuesta es mucho más corta que las secciones no expuestas ($l_2 \ll l/2$), la distribución de la corriente y la de la tensión dependen, sobre todo, de las admitancias en los extremos de la sección. El máximo de corriente inducida se desplaza hacia el extremo de la sección 2 adyacente a la más larga de las dos secciones no expuestas. Este máximo se desplaza más cuando la sección 2 se halla directamente situada al principio o al final de la sección de alimentación ($l_1 = 0$ o $l_3 = 0$, respectivamente). En este caso límite, l_2 tiende a encontrarse en las mismas condiciones que una línea bifilar sometida a una inducción uniforme y uno de cuyos extremos se halla en cortocircuito.

Entonces se utilizará el circuito equivalente de la figura A-4/K.16 para determinar el valor máximo de la corriente inducida.

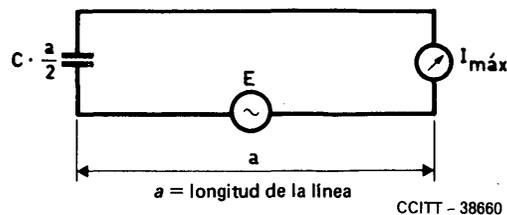


FIGURA A-4/K.16

Línea terminada por un cortocircuito en un extremo

Este esquema corresponde a la mitad de la figura A-1/K.16 relativa a una línea de longitud $l = 2 \cdot a$, sometida a inducción uniforme, estando abiertos los dos extremos y estableciéndose una conexión en la mitad de la ruta. Esta conexión no modifica las condiciones.

Ahora bien, como el extremo de la sección 2 no está en cortocircuito en el caso límite que nos interesa, sino que esta sección termina en admitancias finitas ($\omega C \cdot l_3$ y $\omega C \cdot l_1$, respectivamente), la capacidad efectiva localizada $C \cdot l_2/x$ asociada a la sección 2 en el circuito equivalente parcial estará comprendida entre:

$$C \cdot \frac{l_2}{4} < C \cdot \frac{l_2}{x} < C \cdot \frac{l_2}{2} \quad \text{en el extremo en que se encuentra la prolongación más corta y}$$

$$C \cdot \frac{l_2}{4} > C \cdot \frac{l_2}{x} > 0 \quad \text{en el otro extremo.}$$

Como se verá más adelante, el hecho de tomar $x = 3$ en cada extremo constituye una fórmula transaccional que da resultados satisfactorios para todas las ubicaciones de la sección expuesta cuando tiene poca longitud. En consecuencia, para $l_2 \ll l/2$ se obtiene la siguiente configuración (figura A-5/K.16).

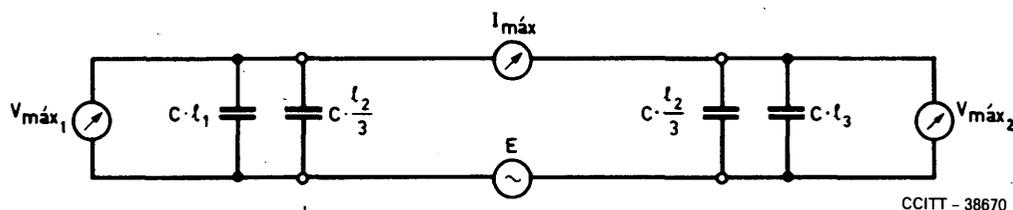


FIGURA A-5/K.16

Circuito cubierta del cable – conductor exterior. Caso de una sección expuesta corta

A.4.2 Impedancia efectiva de transferencia¹⁾

La corriente I que circula por el circuito cubierta del cable-conductor exterior genera una tensión longitudinal \bar{E} en los terminales de la resistencia del conductor exterior del sistema de pares coaxiales. Esta corriente I alcanza su máximo en la sección expuesta y tiende a cero en los extremos de la ruta. La resistencia efectiva que ha de utilizarse con el máximo de corriente I es la de los circuitos equivalentes realizados según las fórmulas simplificadas. En el método del circuito equivalente se introduce una resistencia efectiva cuyo conocimiento, asociado al de la corriente I , permite calcular \bar{E} . Esta resistencia efectiva, designada por $Z_t \cdot l$, se llama impedancia efectiva de transferencia; sustituye a la resistencia $R_0 \cdot l$. El valor de \bar{E} viene dado por la igualdad $\bar{E} = I_{\text{máx}} \cdot Z_t \cdot l$.

Si la inducción es uniforme en toda la sección de alimentación, como en el caso de la figura A-1/K.16, el valor que ha de utilizarse para la impedancia de transferencia viene dado por:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} \cdot R_0 \cdot l.$$

Este valor puede utilizarse también cuando las variaciones de la corriente I a lo largo del trayecto son muy semejantes a las que se producen en el caso de una inducción uniforme ($l_2 \gg l/2$).

Para una exposición parcial de corta longitud en el centro de la sección de telealimentación (véase la figura A-2/K.16), se utilizará la igualdad:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l$$

para calcular la impedancia de transferencia.

Cuando la parte expuesta de corta longitud está situada al principio o al final de la sección de alimentación, se obtiene el mismo valor (como puede demostrarse utilizando el circuito equivalente para una exposición parcial en el centro de la sección, sustituyendo l por $2 \cdot l$).

¹⁾ La impedancia de transferencia se llama a menudo, también, impedancia de acoplamiento de la cubierta metálica del cable.

Cabe suponer, pues, en primera aproximación, que el valor obtenido no varía mucho, ni siquiera si se elige arbitrariamente la ubicación de la sección expuesta de corta longitud.

Así para la impedancia de transferencia del circuito equivalente se tiene:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} R_0 \cdot l \text{ para } l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ y}$$

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} R_0 \cdot l \text{ para } l_2 \ll \frac{l}{2}$$

A.4.3 Circuito conductor exterior-conductor interior

En el circuito *conductor exterior-conductor interior*, predomina la tensión longitudinal \bar{E} a lo largo de toda la sección de alimentación, incluso en el caso de una exposición parcial. Como puede verse consultando las figuras del anexo B, el mínimo de la tensión \bar{V} entre el conductor interior y el conductor exterior se produce exactamente a mitad de camino en el caso de una exposición simétrica, y casi a mitad de camino en todos los casos de exposiciones asimétricas (incluso cuando se trata de secciones muy cortas sometidas a inducción y situadas al principio o al final de la sección de alimentación). Los valores calculados para la corriente y la tensión en el par coaxial no presentarán, pues, diferencias apreciables si se supone que la intensidad de campo debida a la tensión longitudinal \bar{E}/l está distribuida simétricamente, cualesquiera que sean la longitud y la posición de la sección expuesta.

Con esta hipótesis, los esquemas de circuitos de la figura A-6/K.16, obtenidos de los representados en la figuras A-1/K.16 y A-2/K.16 para el caso de una exposición simétrica, pueden emplearse también, en general, para una configuración cualquiera.

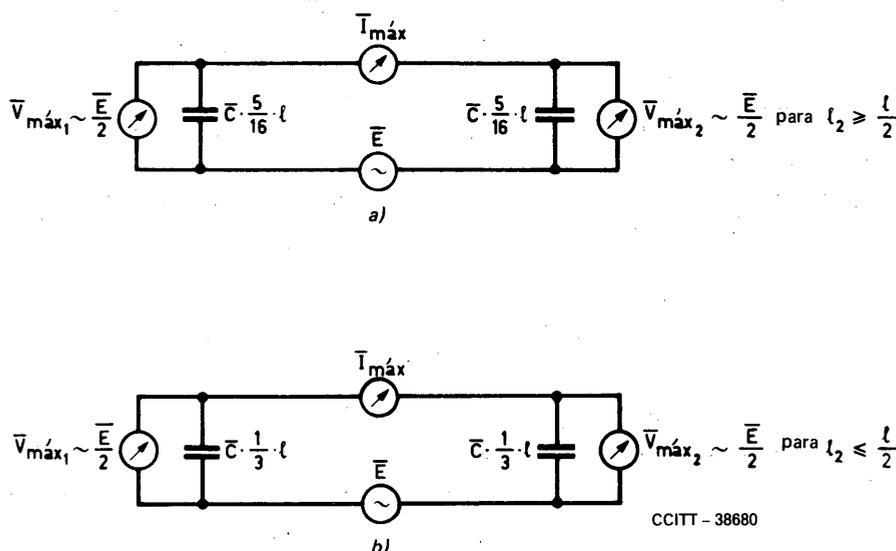


FIGURA A-6/K.16

Circuito conductor exterior – conductor interior;
a) sección expuesta larga, b) sección expuesta corta

A.5 Conclusión del anexo A

Reuniendo los esquemas elementales de las figuras A-3/K.16 a A-6/K.16, se obtiene un esquema de circuito equivalente de aplicación general, en el que se adoptarán para las capacidades y la impedancia de transferencia valores numéricos diferentes según la longitud de la sección expuesta:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ y } l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ respectivamente.}$$

Como puede demostrarse con ejemplos numéricos, se obtienen resultados satisfactorios conservando los parámetros asociados al caso $l_2 \ll l/2$ incluso cuando $l_2 = l/2$. Si sustituimos, pues:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ por } l_2 > \frac{l}{2} \text{ y}$$

$$l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ por } l_2 \leq \frac{l}{2}$$

todas las posibilidades de exposición estarán cubiertas por medio de dos grupos de parámetros y el error que afecte a las zonas intermedias permanecerá dentro de unos límites tolerables.

El circuito equivalente de aplicación general es objeto de la figura 2/K.16.

**Ejemplos de aplicación de los cálculos completos y del cálculo simplificado.
Casos en que los conductores exteriores están con potencial flotante**

Para asegurarse de la utilidad del circuito equivalente en casos de exposición parcial arbitrariamente elegidos, se han calculado los valores máximos de las tensiones y de las corrientes por medio del circuito equivalente en ciertos casos de exposición que en [1] han sido objeto de un cálculo completo. Los valores hallados se han llevado a las figuras correspondientes reproducidas según dicha referencia.

Para los cálculos comparativos, se han utilizado los valores siguientes relativos a sistemas de 300 canales por cable con pares coaxiales de pequeño diámetro:

$$C = 0,12 \mu\text{F/km}; \quad R_0 = 6,2 \Omega/\text{km}; \quad \bar{C} = 0,2 \mu\text{F/km}; \quad l = 64 \text{ km}$$

En las figuras B-1/K.16 a B-5/K.16 pueden verse curvas que, establecidas con precisión, dan las tensiones y corrientes inducidas en un sistema de telecomunicación de 300 canales. Estas figuras corresponden a las figuras 4/K.16 y A-1/K.16 a A-3/K.16, tal como aparecen en la referencia [1], habiéndose elegido como valor de referencia una tensión longitudinal E de 1000 V en vez de 2000 V. Los valores aproximados de los máximos, calculados por medio del circuito equivalente, se indican en ellas mediante puntos negros. En todos los casos, se comprueba una concordancia satisfactoria con los valores obtenidos por un análisis exacto.

Ejemplo de cálculo para la figura B-4/K.16

Se supone que en una sección de alimentación de 64 km perteneciente a un sistema de 300 canales por cable con pares coaxiales de pequeño diámetro, cuyo conductor exterior está a potencial flotante, se halla expuesta al efecto de inducción de una línea eléctrica entre los kilómetros 12 y 28. La tensión longitudinal en el cable es, por hipótesis, de 1000 V a 50 Hz y hay que evaluar los valores máximos de las tensiones y de las corrientes inducidas que aparecen en el cable.

En este caso, se tiene: $l_1 = 12 \text{ km}$, $l_2 = 16 \text{ km}$, $l_3 = 36 \text{ km}$, $l/2 = 32 \text{ km}$. Como $l_2 < l/2$, se utilizarán los parámetros siguientes para el circuito equivalente (véase la figura 2/K.16): $k_0 = 1/3$, $k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/3$, $\bar{C} = 0,2 \mu\text{F/km}$, $R_0 = 6,2 \Omega/\text{km}$, $C = 0,12 \mu\text{F/km}$.

Desarrollo

$$\begin{array}{rcccl}
 Cl_1 = 0,12 \times 12 & & Ck_2 l_2 = 0,12 \times \frac{1}{3} \times 16 & & Cl_3 = 0,12 \times 36 \\
 = 1,44 \mu\text{F} & & = 0,64 \mu\text{F} & & = 4,32 \mu\text{F} \\
 & \underbrace{\quad + \quad}_{2,08 \mu\text{F}} & & \underbrace{\quad + \quad}_{4,96 \mu\text{F}} & \\
 \frac{1}{\omega C} \text{ a } 50 \text{ Hz:} & 1530 \Omega & + & 640 \Omega & = 2170 \Omega
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcccl}
 I_{\text{máx}} = \frac{1000 \text{ V}}{2170 \Omega} = 0,461 \text{ A} & \begin{array}{l} \nearrow \times \\ \rightarrow \times \\ \searrow \times \end{array} & \begin{array}{l} 1530 \Omega = V_{\text{máx}_1} = 705 \text{ voltios} \\ 640 \Omega = V_{\text{máx}_2} = 295 \text{ voltios} \\ 198,5 \Omega = \bar{E} = 91,6 \text{ voltios} \end{array}
 \end{array}$$

$$\frac{1}{2} R_0 l = \frac{1}{2} \times 6,2 \times 64 = 198,5 \Omega$$

$$\frac{1}{2} \bar{E} \approx \bar{V}_{\text{máx}_1} \approx \bar{V}_{\text{máx}_2} = 45,8 \text{ voltios}$$

$$\frac{1}{3} \omega \bar{C} l = \frac{1}{3} \times 314 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 64 = 1,34 \times 10^{-3} \text{ mhos}$$

$$\bar{I}_{\text{máx}} = 1,34 \times 10^{-3} \times 45,8 = 61,5 \text{ mA}$$

CUADRO B-1/K.16

Comparación entre los valores obtenidos mediante el circuito equivalente
y los valores máximos calculados con precisión

(Valores extraídos de la figura B-4/K.16)

Valores máximos	Valores resultantes del cálculo exacto	Valores resultantes de la aplicación del circuito equivalente	Diferencia con relación al cálculo exacto
$V_{\text{máx}_1}$	685 V	705 V	+2,9 %
$V_{\text{máx}_2}$	315 V	295 V	-6,3 %
$I_{\text{máx}}$	0,455 A	0,461 A	+1,3 %
$\bar{V}_{\text{máx}_1}$	48 V	45,8 V	-4,6 %
$\bar{V}_{\text{máx}_2}$	37,5 V	45,8 V	+22 %
$\bar{I}_{\text{máx}}$	55 mA	61,5 mA	+11,8 %

Esta comparación muestra que, exceptuando el valor de $\bar{V}_{\text{máx}_2}$ todas las diferencias observadas con relación a los valores resultantes de un cálculo exacto son inferiores al 12% y que los valores obtenidos mediante el circuito equivalente son generalmente superiores a los resultados del cálculo exacto. La diferencia de 22% observada en el caso de $\bar{V}_{\text{máx}_2}$ no tiene importancia práctica, puesto que sólo afecta al menor de los dos máximos de \bar{V} .

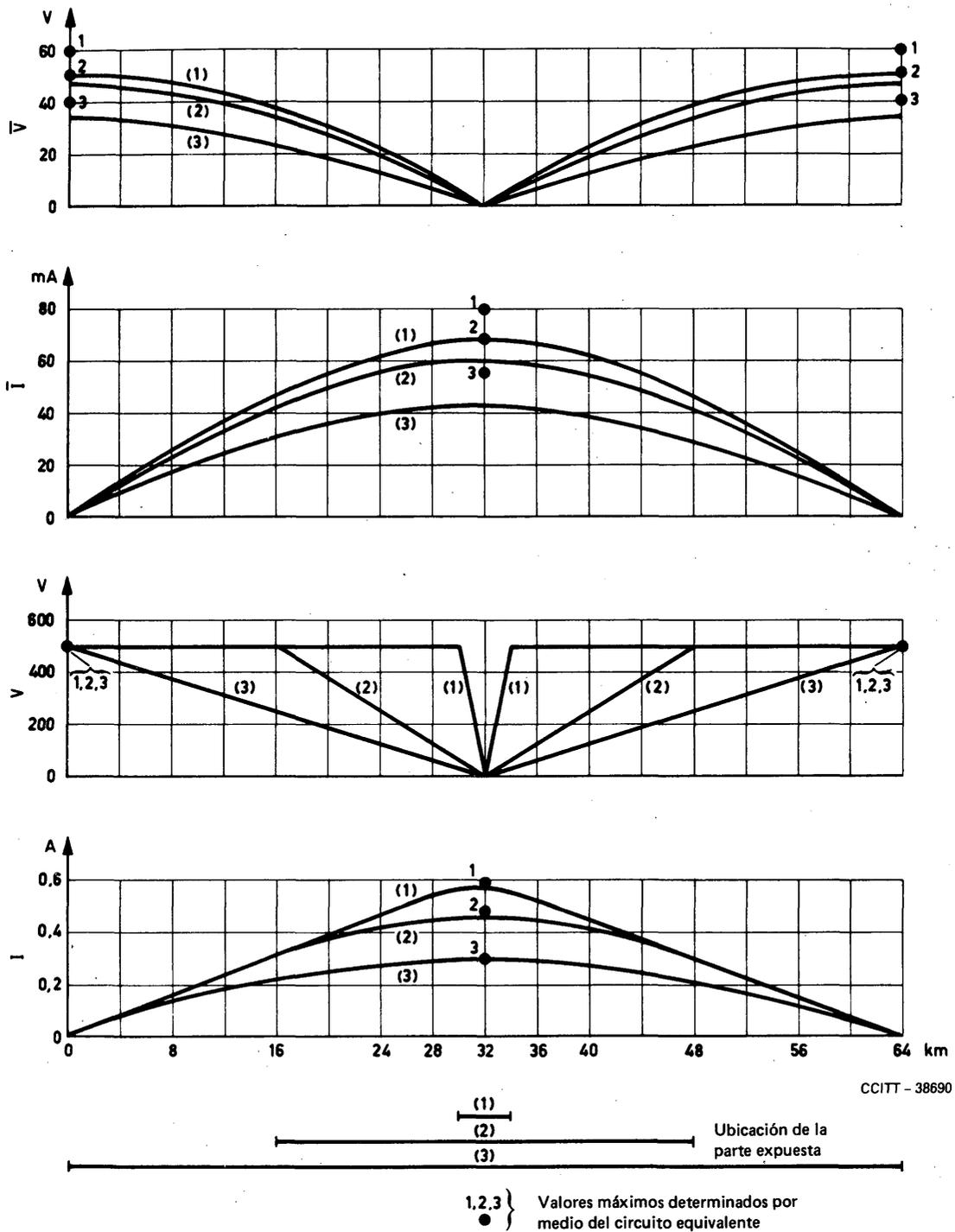


FIGURA B-1/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones simétricas.
 Tensión inducida a lo largo de la sección expuesta: 1000 voltios
 (conductores exteriores de pares coaxiales con potencial flotante)

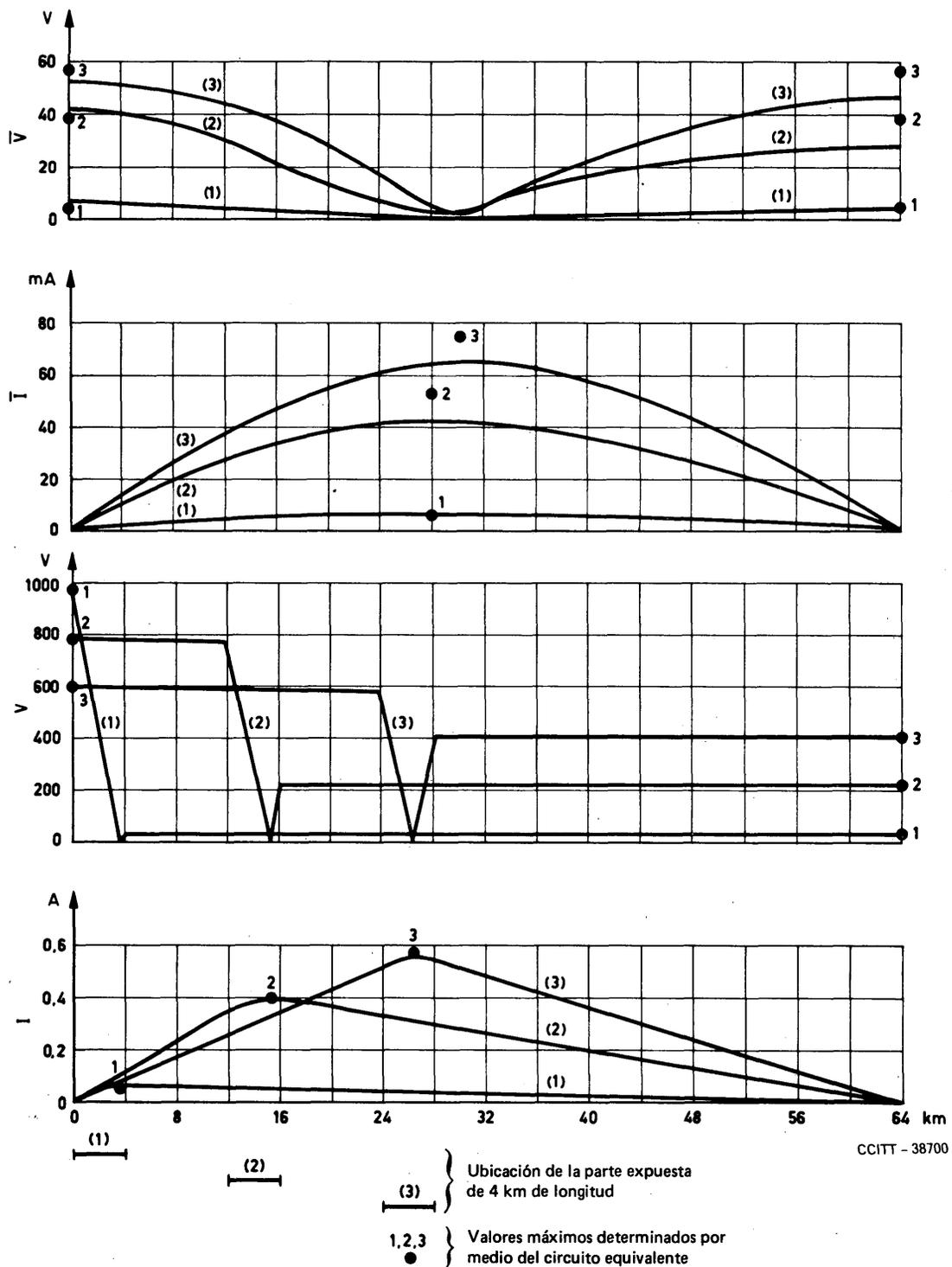


FIGURA B-2/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (longitud de exposición, 4 km). Tensión inducida a lo largo de la sección expuesta: 1000 voltios (conductores exteriores de pares coaxiales con potencial flotante)

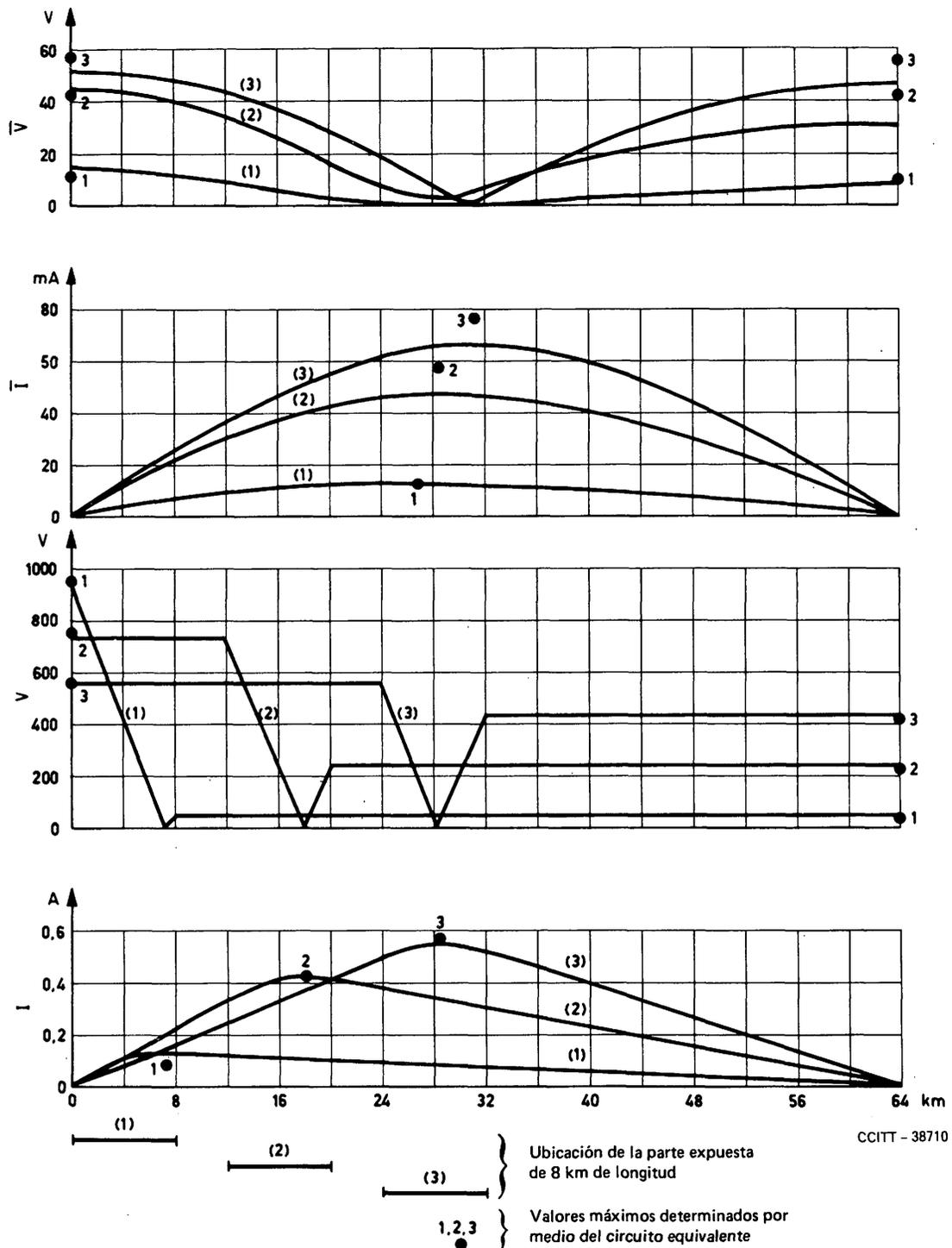


FIGURA B-3/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (longitud de exposición, 8 km). Tensión inducida a lo largo de la sección expuesta: 1000 voltios (conductores exteriores de pares coaxiales con potencial flotante)

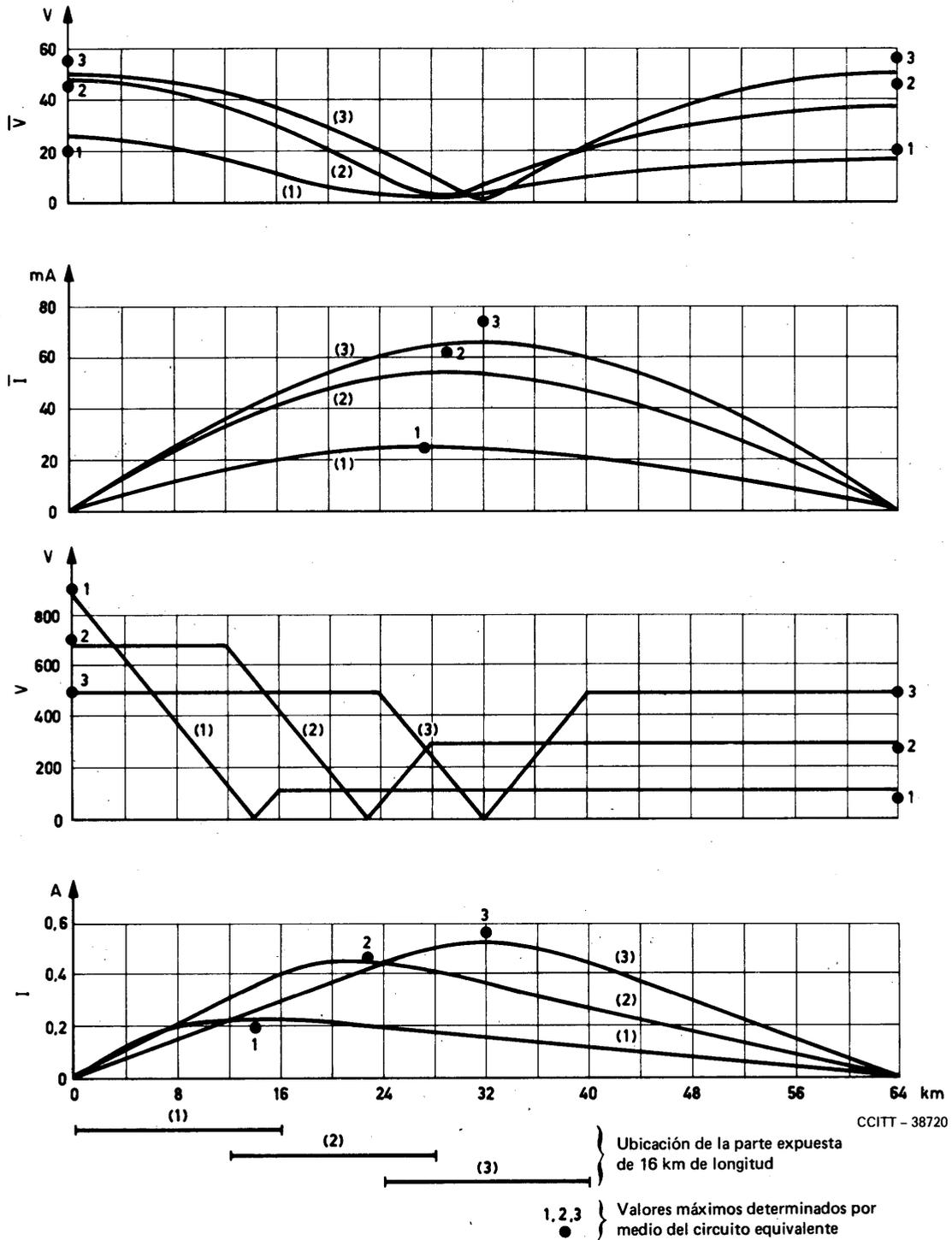


FIGURA B-4/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (longitud de exposición, 16 km). Tensión inducida a lo largo de la sección expuesta: 1000 voltios (conductores exteriores de pares coaxiales con potencial flotante)

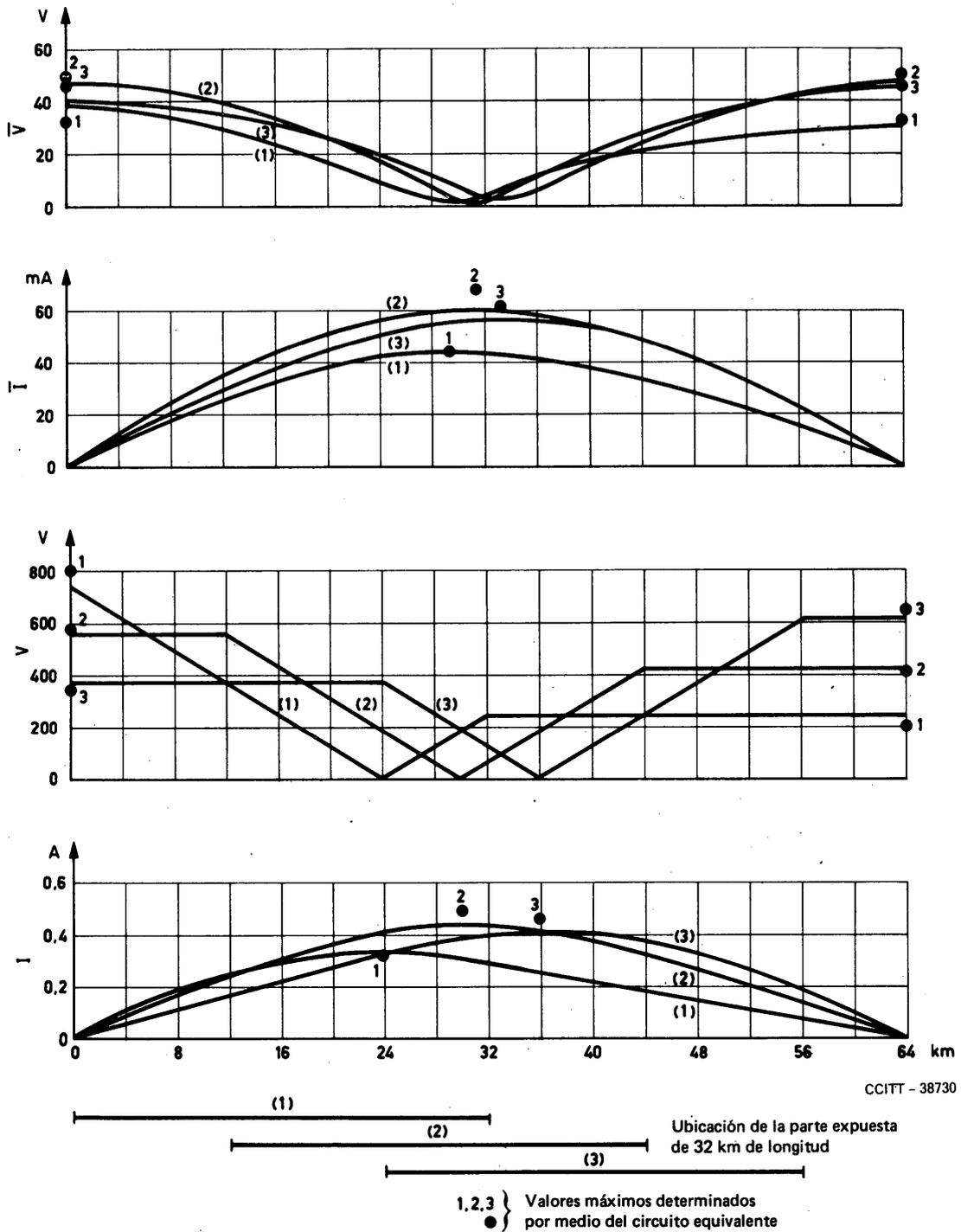


FIGURA B-5/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (longitud de exposición, 32 km). Tensión inducida a lo largo de la sección expuesta: 1000 voltios (conductores exteriores de pares coaxiales con potencial flotante)

(a la Recomendación K.16)

**Ejemplos de aplicación de los cálculos completos y del cálculo simplificado.
Caso en que los conductores exteriores están conectados a tierra**

C.1 Conductores interiores conectados a una tensión regulada, ligeramente desacoplada

Cuando los conductores exteriores están puestos a tierra y los conductores interiores están conectados a una tensión regulada, cuyos condensadores de desacoplamiento a tierra son de valor pequeño, sólo conviene tomar en consideración, en el circuito equivalente, la parte del esquema relativa al circuito *conductor exterior-conductor interior* e insertar, lógicamente, la capacidad \bar{C} en lugar de la C . La resistencia $k_1 R_0 l$, que representa la impedancia de transferencia, se ha omitido también. En este caso, el esquema universal se reduce al de la figura C-1/K.16.

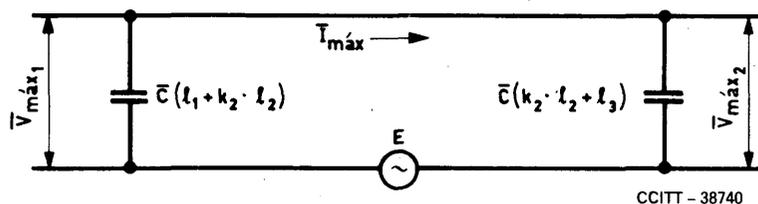


FIGURA C-1/K.16

Circuito cubierta del cable – conductor exterior (sección expuesta larga)

C.2 Conductores interiores puestos a tierra a través de una baja impedancia situada en la estación de alimentación de energía

En este caso, el esquema universal se reduce al de la figura C-2/K.16.

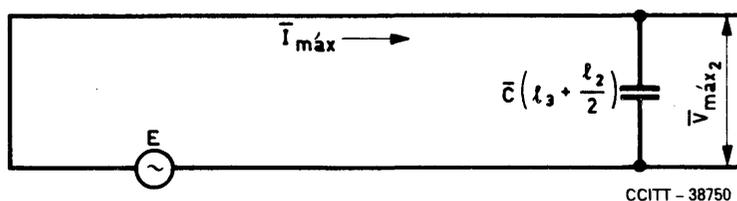


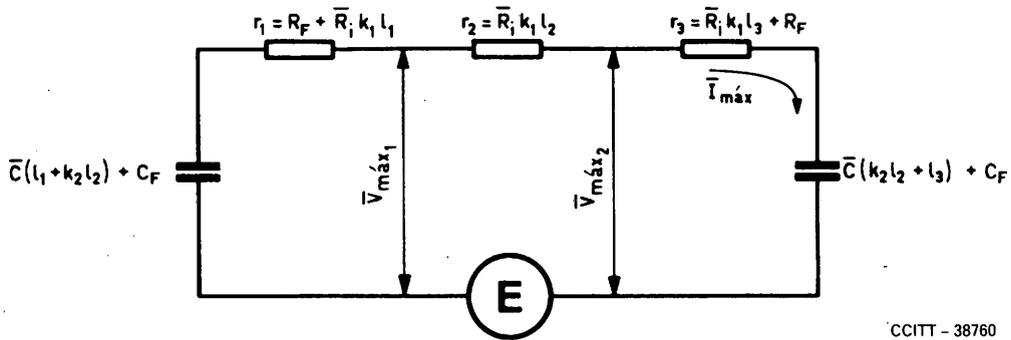
FIGURA C-2/K.16

Línea en cortocircuito en un extremo

C.3 Conductores interiores conectados a una tensión regulada, muy desacoplada

En el caso en que los conductores exteriores están puestos a tierra y los conductores interiores están conectados a una tensión regulada cuyos condensadores de desacoplamiento a tierra tienen valores grandes (varios μF), no basta con el esquema simplificado de la figura C-1/K.16. Hay que tener en cuenta también la resistencia de los conductores centrales de los pares coaxiales (eventualmente resistencias que se encuentran en serie en las alimentaciones de los amplificadores).

Para cerciorarse de la validez del circuito equivalente modificado en este caso, se ha hecho un cálculo sobre un ejemplo concreto que corresponde a un caso de explotación. Se trata también de sistemas de 300 canales en pares coaxiales de pequeño diámetro, para los que se ha considerado un enlace de 66 km, con $\bar{C} = 0,11 \mu\text{F}/\text{km}$, $R_i = 17 \Omega/\text{km}$, siendo equivalente la impedancia de desacoplamiento de los sistemas de alimentación regulada a una resistencia R_F de 50 ohmios en serie con una capacidad C_F de 15 μF . En la figura C-3/K.16 se representa el esquema correspondiente.



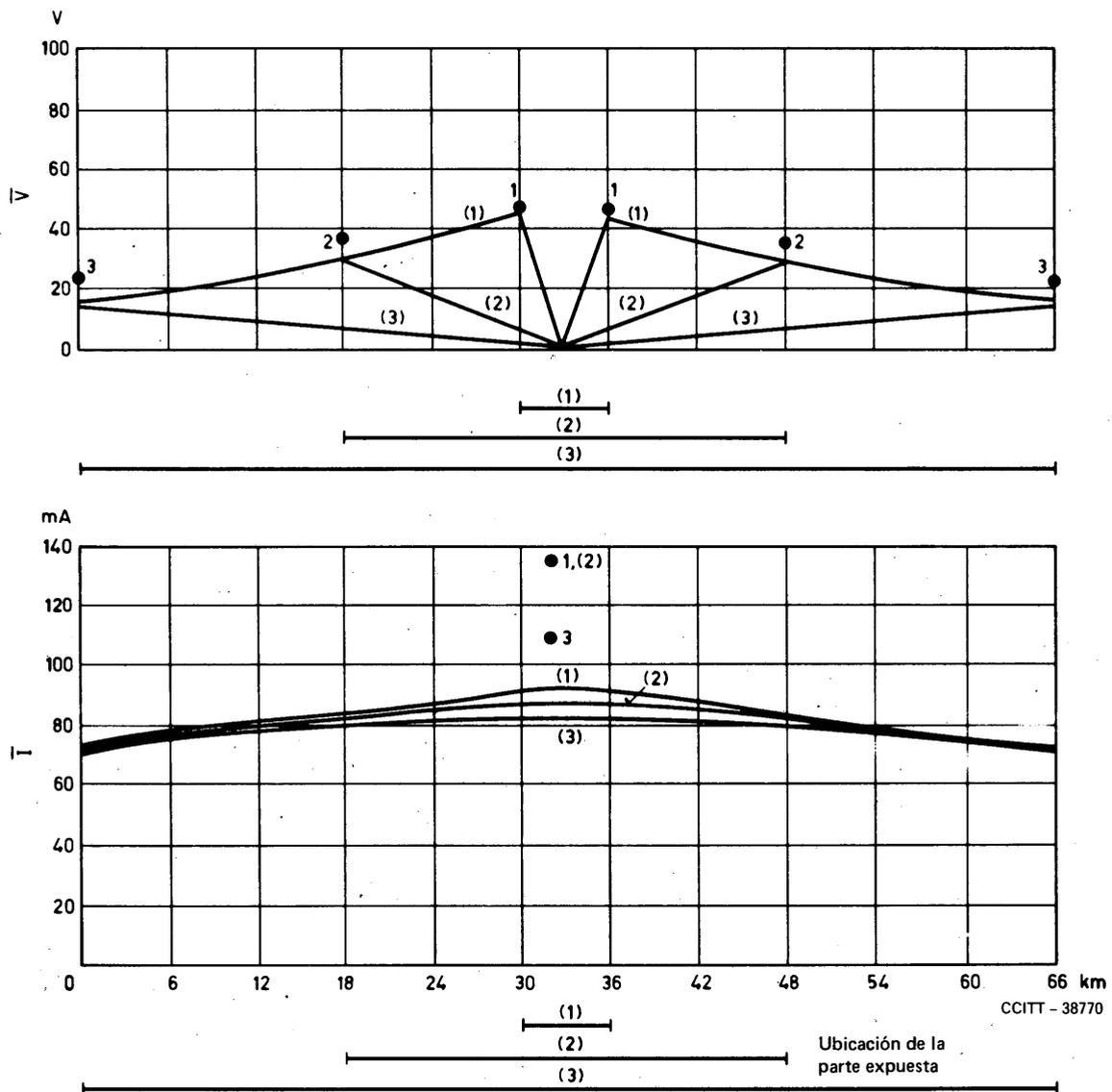
CCITT - 38760

Observación - \bar{R}_i es la resistencia por kilómetro del conductor interior más la resistencia de todos los filtros direccionales de los repetidores, expresada en valor de resistencia por kilómetro.

FIGURA C-3/K.16

Circuito equivalente en el caso en que los conductores exteriores de pares coaxiales están conectados a tierra y los conductores interiores tienen una alimentación regulada muy desacoplada

Se supone que la tensión inducida es tal que, teniendo en cuenta el factor de apantallamiento del cable, la tensión interferente que hay que tomar en consideración es igual a 100 voltios. (Si la tensión no pudiera limitarse a este valor, se emplearía otra solución, por ejemplo, el retorno a un potencial flotante.) Para una tensión inducida $E = 100 \text{ V}$ y después de tener en cuenta el factor de apantallamiento combinado de la cubierta del cable y de los conductores exteriores puestos a tierra, las figuras C-4/K.16 a C-7/K.16 indican los valores de las tensiones y corrientes obtenidos en el circuito completo; se han llevado a las mismas figuras los puntos correspondientes a la utilización del circuito equivalente de la figura C-3/K.16. La concordancia entre las dos series de resultados es completamente satisfactoria.

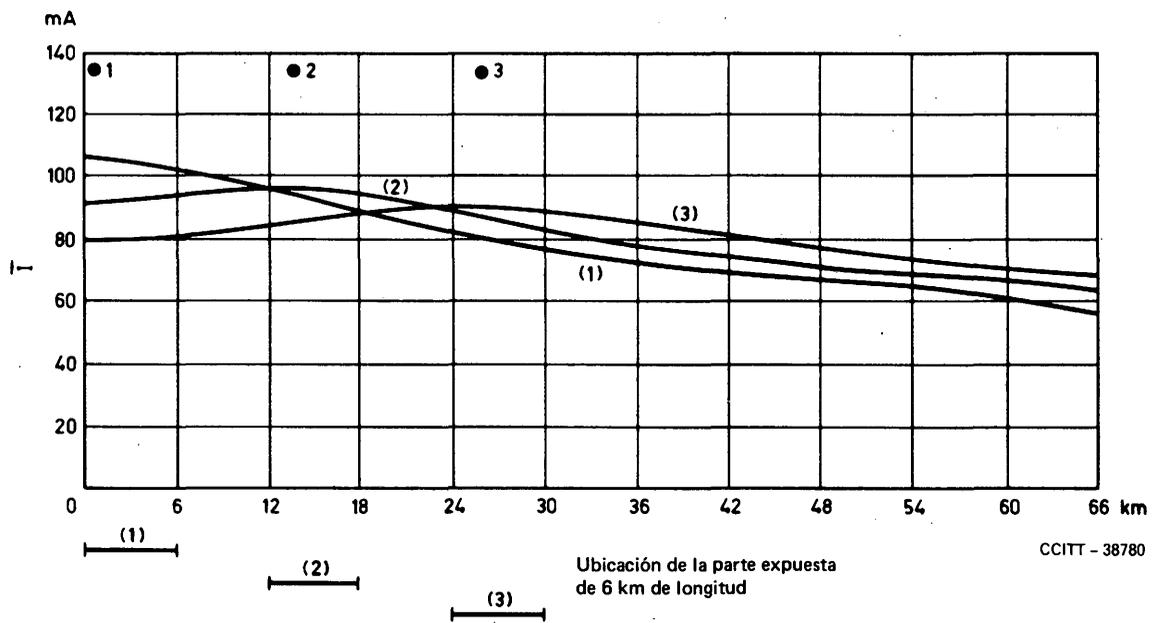
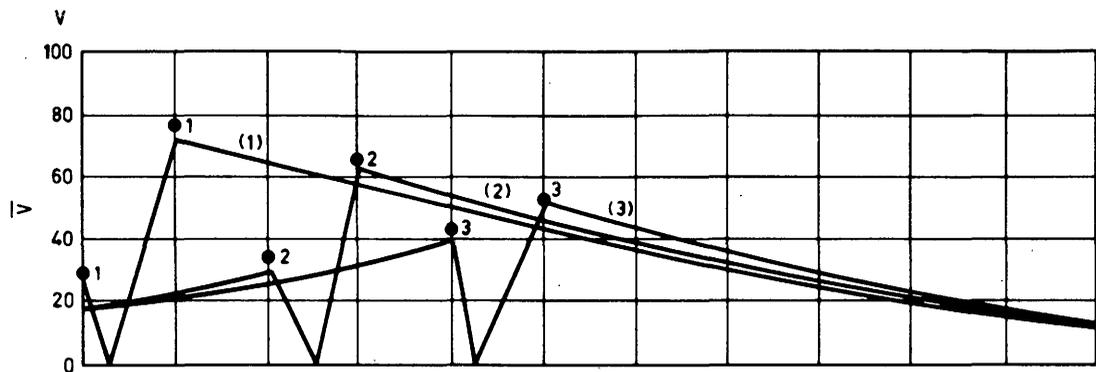


1, 2, 3 } Valores máximos determinados por
 ● } medio del circuito equivalente

Longitud de exposición : 6 km, 30 km, o 66 km
 Tensión inductora : 100 voltios

FIGURA C-4/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones simétricas
 (conductor exterior de los pares coaxiales conectado a tierra)



CCITT - 38780

1, 2, 3 } Valores máximos determinados por
 ● } medio del circuito equivalente

Longitud de exposición : 6 km
 Tensión inductora : 100 voltios

FIGURA C-5/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (conductor exterior de los pares coaxiales conectado a tierra)

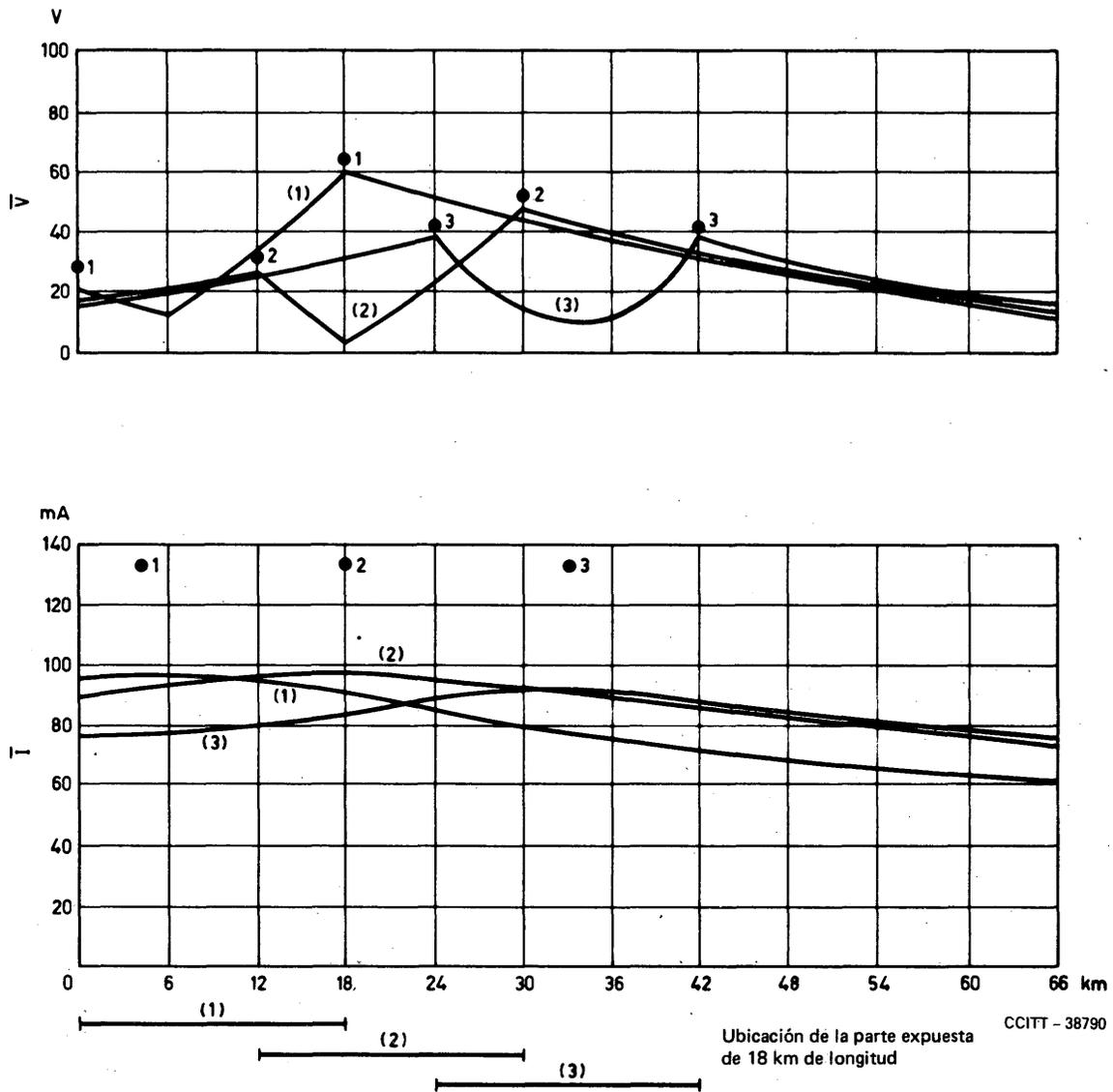
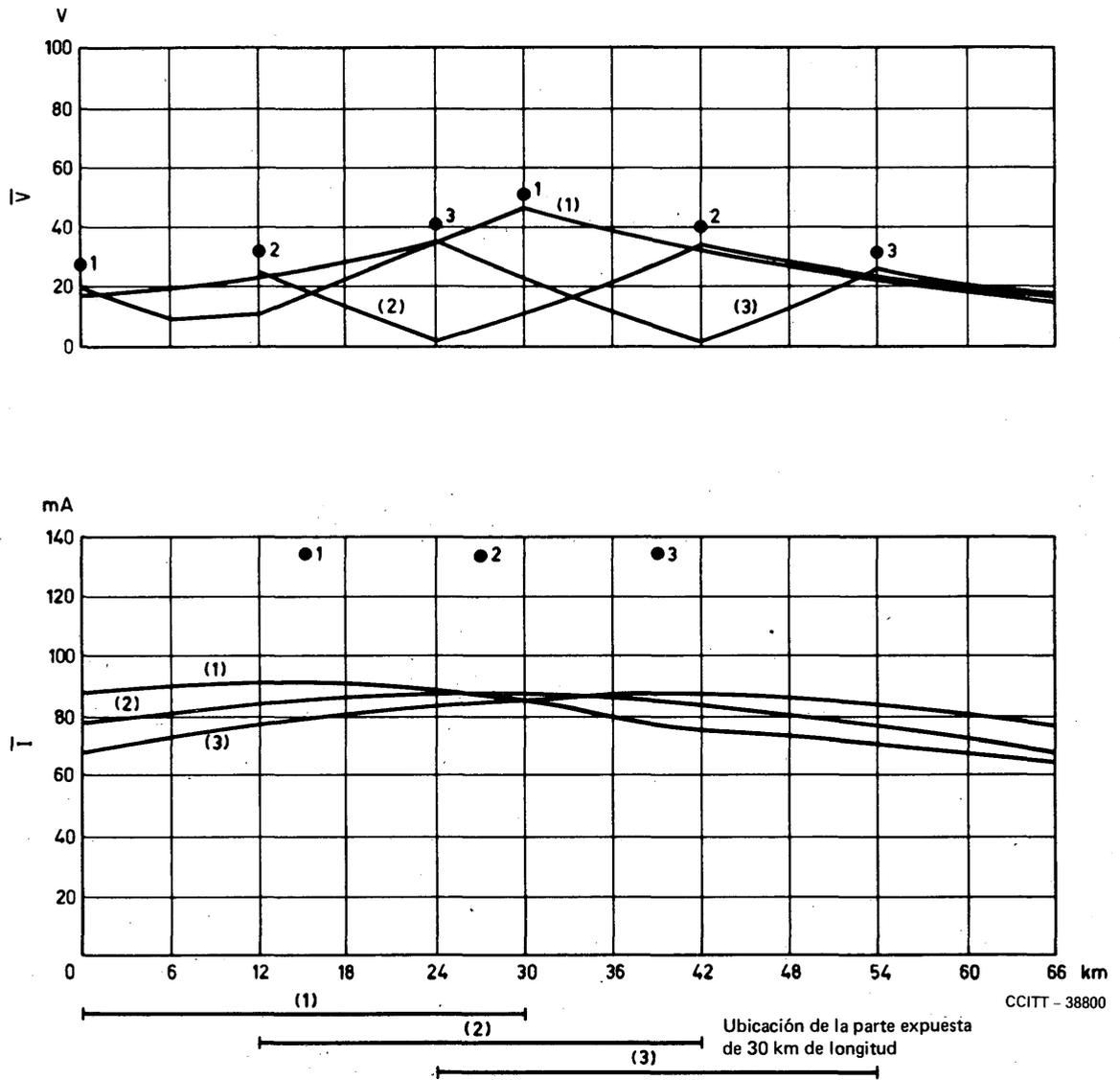


FIGURA C-6/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (conductor exterior de los pares coaxiales conectado a tierra)



1, 2, 3 } Valores máximos determinados por
 ● } medio del circuito equivalente

Longitud de exposición: 30 km
 Tensión inductora : 100 voltios

FIGURA C-7/K.16

Tensiones y corrientes que aparecen en una ruta de 300 canales en el caso de exposiciones asimétricas (conductor exterior de los pares coaxiales conectado a tierra)

Referencias

- [1] KEMP (J.), SILCOOK (H.W.) STEWARD, (C.J.): Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems; *Electrical Communication*, Vol. 40, N.º 2, pp. 255-266, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.º 2, pp. 254-263, 1965.)
- [2] SALZMANN (W.), VOGEL (W.): Berechnung der Starkstrombeeinflussung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Aussenleitern. (Cálculo de la interferencia producida por líneas eléctricas en los cables de telecomunicación con pares coaxiales y conductores exteriores aislados); *Signal und Draht* 57, N.º 12, pp. 205-211, 1965.

Bibliografía

- KEMP (J.): Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning; *Electrical Communication*, Vol. 40, N.º 3, pp. 381-385, 1965.
(Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.º 3, pp. 398-402, 1965.)
- POPP (E.): Lightning Protection of Line Repeaters; *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169-174.

Recomendación K.17¹⁾ (Ginebra, 1976)

PRUEBAS DE LOS REPETIDORES TELEALIMENTADOS EQUIPADOS DE DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO PARA VERIFICAR LA EFICACIA DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES EXTERIORES

1 Introducción

1.1 Como se indica en el § 4.1 de la Recomendación K.15, conviene que las condiciones experimentales simulen lo más exactamente posible las condiciones reales. Como ciertas Administraciones pueden desarrollar sus actividades en condiciones diferentes, perseguir diferentes objetivos de servicio o estar sujetas a limitaciones económicas distintas, estas pruebas pueden modificarse a fin de adaptarlas a las condiciones locales.

Si no se conoce el medio ambiente, debe aplicarse lo estipulado en la presente Recomendación.

1.2 Ninguna de las pruebas indicadas en la presente Recomendación debe motivar cambios importantes en las características de los repetidores probados.

En particular, esto se aplica a:

- a) la corriente y la tensión del circuito de alimentación;
- b) la característica de ganancia en función de la frecuencia;
- c) el ruido total;
- d) la tasa de errores en los bits.

Las pruebas consisten en:

- pruebas de prototipos;
- pruebas de aceptación.

Las pruebas están destinadas a verificar la eficacia de todas las medidas tomadas para proteger los repetidores equipados de dispositivos de estado sólido. Tales medidas incluyen los dispositivos de protección que formen parte integrante del repetidor, o instalados externamente en la ubicación de éste.

1.3 Pruebas de prototipos

Se efectúan pruebas de prototipos para verificar la eficacia del diseño del repetidor y de los elementos de protección en condiciones rigurosas.

Para definir las medidas de protección que deben adoptarse, hay que tener en cuenta las fuerzas electromotrices más peligrosas que pueden aparecer a la entrada y a la salida de los repetidores equipados de dispositivos de estado sólido, incluso si se manifiestan muy rara vez.

¹⁾ Véanse también las Recomendaciones K.15 y K.16.

Cuando un repetidor equipado de dispositivos de estado sólido, con descargadores en los terminales de entrada (o de salida), está sometido a una tensión de choque, la energía (residual) que puede llegar a sus componentes en el lapso de tiempo comprendido entre cero y el instante de la formación del arco en los descargadores depende, entre otras cosas, de la pendiente del frente anterior del impulso.

Durante la prueba de prototipos, conviene que el valor de esta energía residual sea tan elevado como el del caso más desfavorable que pueda darse en la práctica.

Se cumplirá esta condición eligiendo una onda de choque de amplitud y de pendiente apropiadas. Es, sin embargo, adicional a la prueba anteriormente descrita, en la que se recomienda aplicar al repetidor un impulso de amplitud inferior a la tensión de formación de arco de los descargadores, para determinar cómo se comporta bajo la influencia de la totalidad de la onda de choque.

1.4 Pruebas de aceptación

Estas pruebas están destinadas a comprobar si, una vez montado el equipo, la protección funciona debidamente. En general, la prueba es menos rigurosa que la del prototipo, para no correr el riesgo de que ciertos componentes sufran un deterioro que pudiera no descubrirse por ningún procedimiento de medición. Sin embargo, se deja al criterio de los usuarios prescribir pruebas más rigurosas (adaptadas a condiciones reales especiales).

El usuario decidirá si deben efectuarse pruebas de aceptación de cada equipo, o por muestreo.

Observación – En ciertos casos, los usuarios pueden juzgar conveniente efectuar pruebas suplementarias que correspondan a sus necesidades especiales. Tales pruebas no figuran entre las que se indican a continuación.

2 Métodos de prueba

2.1 Métodos de prueba relativos a la protección de los repetidores contra las sobretensiones debidas a descargas eléctricas (pruebas con impulsos)

Para las pruebas se utilizará un dispositivo como el descrito en la figura 1/K.17. El condensador C_1 deberá soportar una tensión de carga igual al valor de la tensión de cresta que figura en el cuadro 1/K.17. Los valores de C_2 y R_3 vienen dados en el cuadro 1/K.17.

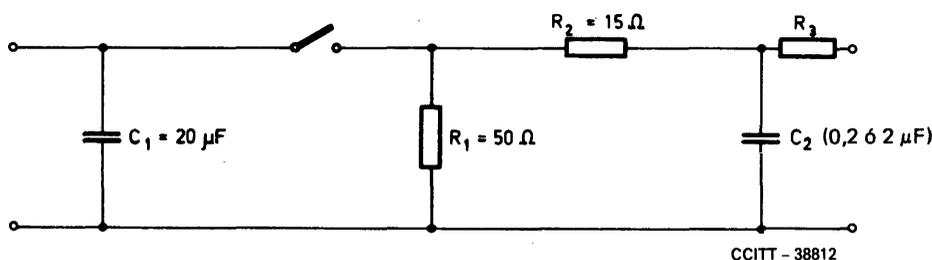


FIGURA 1/K.17

Esquema de un generador de impulsos

Observación – Cuando deban efectuarse pruebas con amplificadores para pares simétricos o pares microcoaxiales, la corriente de cortocircuito del equipo de medida debe limitarse a valores adecuados por medio de R_3 , teniendo en cuenta la mayor resistencia de los conductores de las líneas de pares simétricos o pares microcoaxiales, frente a los de las líneas de cables de pares coaxiales.

Las formas de onda indicadas en el cuadro 1/K.17 concuerdan con las que se definen en [1] (las tensiones y las formas de onda se refieren a un generador sin carga).

CUADRO 1/K.17

Características de las formas de onda que se han de utilizar para las pruebas

Columna N.º	Repetidores para pares coaxiales de diámetro $\geq 1,2/4,4$ mm				Repetidores para pares simétricos				Repetidores para pares microcoaxiales (0,7/2,9 mm)			
	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3a)	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3a)	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3a)	Prueba 1 Prueba 2	Prueba 3a)
Columna N.º	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Forma de onda ^{b)}	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700
Carga	0,1 culombios	máx. 0,1 culombios	0,06 culombios	máx. 0,06 culombios	0,03 culombios	0,03 culombios	0,03 culombios	0,03 culombios	0,1 culombios	máx. 0,1 culombios	0,06 culombios	máx. 0,06 culombios
Tensiones de cresta	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV
Corriente de descarga de cortocircuito	333 A		200 A		37,5 A		37,5 A		125 A		75 A	
Corriente de cresta en el circuito de alimentación		50 A		50 A		37,5 A		37,5 A		50 A		50 A
C_2	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F
R_3	c)	c)	c)	c)	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω
Número de impulsos	10	10	2	2	10	10	2	2	10	10	2	2

a) En la prueba 3 en repetidores para pares coaxiales, la tensión de cresta puede reducirse a un valor tal que sólo permita el paso de una corriente no superior a 50 A.

b) Valores aproximados (véase también la observación del § 2.1).

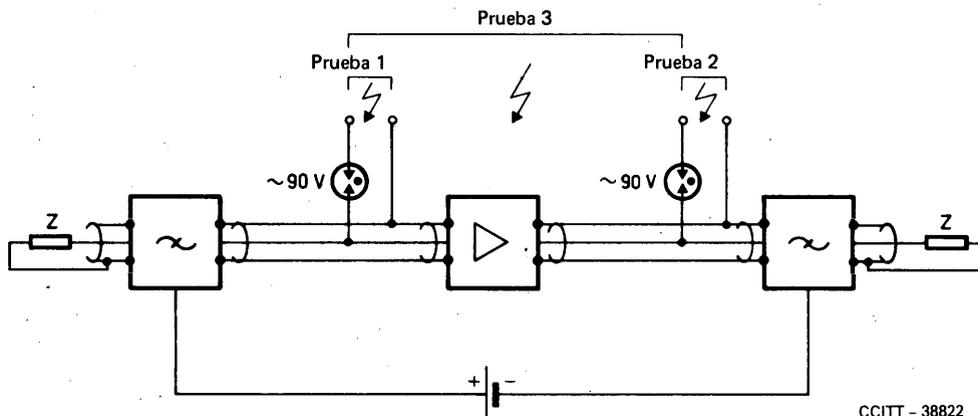
c) Puede introducirse una resistencia R_3 (0-2,5 ohmios) para evitar descargas oscilatorias. Su valor puede ser superior a 2,5 ohmios si se ajustan C_2 y R_2 para mantener la forma de onda en condiciones de carga.

Los impulsos se aplicarán con polaridad invertida de un impulso a otro, con un intervalo de un minuto entre impulsos sucesivos; el número de impulsos aplicados a cada punto de prueba se indica, para los diferentes casos, en la última línea del cuadro 1/K.17. Los impulsos deben aplicarse en los siguientes puntos:

- *prueba 1*: a la entrada del repetidor, con la salida terminada por su impedancia característica;
- *prueba 2*: a la salida del repetidor, con la entrada terminada por su impedancia característica;
- *prueba 3*: (en sentido longitudinal): entre el conductor interno del lado de entrada y el conductor interno del lado de salida del repetidor en el caso de repetidores para pares coaxiales (en los terminales del circuito de telealimentación, en el caso de repetidores para pares simétricos).

El repetidor debe estar alimentado en las pruebas 1 y 2, pero no en la prueba 3.

Puede ser útil en estas mediciones el circuito representado en la figura 2/K.17 para pares coaxiales, y en la figura 3/K.17 para pares simétricos. Para acoplar el generador de impulsos al repetidor, pueden utilizarse descargadores con una tensión de formación de arco de aproximadamente 90 V, como se ilustra en las figuras 2/K.17 y 3/K.17, respectivamente.

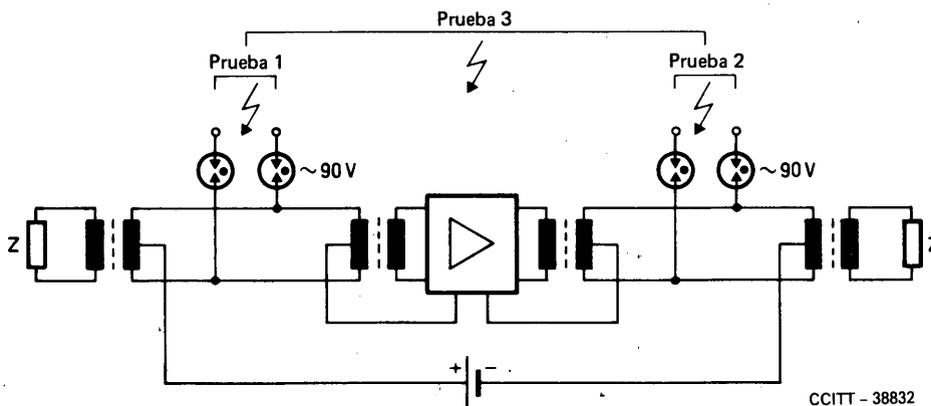


CCITT - 38822

Observación - El valor de Z debe especificarse teniendo en cuenta las características del sistema sometido a prueba.

FIGURA 2/K.17

Ejemplo de circuito para pruebas, con impulsos de tensión, de repetidores telealimentados utilizados en cables de pares coaxiales



CCITT - 38832

Observación - El valor de Z debe especificarse teniendo en cuenta las características del sistema sometido a prueba.

FIGURA 3/K.17

Ejemplo de circuito para pruebas, con impulsos de tensión, de repetidores telealimentados utilizados en cables de pares simétricos

2.2 *Métodos de prueba relativos a la protección de los repetidores contra los efectos de la corriente alterna causados por anomalías en una línea de distribución de energía*

2.2.1 *Pruebas con corriente alterna en los terminales de entrada y de salida de un repetidor*

Se aplica una f.e.m. alterna (frecuencia 16 2/3, 25, 50 ó 60 Hz):

- a la entrada del repetidor, con su salida terminada por una impedancia igual al doble de la impedancia característica;
- a la salida del repetidor, con su entrada terminada por una impedancia igual al doble de la impedancia característica.

El valor y la duración de la f.e.m. y la impedancia interna de la fuente deben ser representativos de las condiciones locales (esta prueba sólo se especifica para los repetidores de pares coaxiales).

2.2.2 *Pruebas con corriente alterna en los terminales del trayecto de telealimentación del repetidor*

Se aplica una corriente alterna de frecuencia e intensidad apropiadas a los terminales del trayecto de telealimentación.

Para las pruebas especificadas en el § 2.2, no debe alimentarse el repetidor probado.

2.3 *Métodos de prueba relativos a la protección de los repetidores contra las perturbaciones debidas a tensiones alternas longitudinales inducidas permanentemente por líneas eléctricas*

Para que un repetidor funcione de manera satisfactoria en presencia de tensiones inducidas permanentes (véase el § 3.2 de la Recomendación K.15), sus características de ruido de modulación han de ajustarse, de acuerdo con lo especificado en el § 4.3 de la Recomendación K.15, a las recomendaciones relativas a las secciones principales, preparadas por la Comisión de Estudio XV, y debe funcionar sin modificación importante de sus características de transmisión (por ejemplo, véase [2]) cuando está conectado a una línea ordinaria de alimentación en presencia de:

- a) una tensión alterna de frecuencia apropiada (50 Hz, 16 2/3 Hz, etc.) aplicada a:
 - i) los terminales de entrada de las señales, o
 - ii) los terminales de salida de las señales.

La fuente de esta tensión alterna debe tener, en los puntos de conexión al circuito de prueba, una impedancia tal que no se perturben considerablemente las características de transmisión-frecuencia de este circuito.

- b) una corriente alterna de frecuencia apropiada, superpuesta a la corriente de alimentación del repetidor.

La prueba especificada en a) debe efectuarse con 60 ó 150 V según los límites de la fuerza electromotriz inducida permanentemente [3]. La prueba especificada en b) se efectuará con un valor de corriente correspondiente a una fuerza electromotriz de 60 ó 150 V, calculada conforme a la Recomendación K.16, para las condiciones más desfavorables.

3 **Pruebas que deben efectuarse en los diferentes casos**

3.1 *Condiciones de prueba para los repetidores utilizados en pares coaxiales*

Las pruebas indicadas a continuación se han ideado para el caso en que el conductor exterior esté conectado a la cubierta metálica del cable. Cubren el caso en que el conductor exterior, que normalmente tiene un potencial flotante, entra en contacto accidentalmente con la cubierta metálica.

3.1.1 *Pruebas de prototipos*

3.1.1.1 *Pruebas en los terminales de entrada y de salida del repetidor*

3.1.1.1.1 *Pruebas con impulsos*

Estas pruebas se efectuarán en las condiciones indicadas en la primera columna del cuadro 1/K.17.

Si se asegura la protección mediante *dispositivos de umbral* (por ejemplo, descargadores) situados a la entrada o a la salida del repetidor, y si estos dispositivos no se ceban en las condiciones de prueba indicadas anteriormente, habrá que aumentar progresivamente la tensión de carga del condensador C_1 , hasta que se produzca el arco [sin rebasar 7 kV²⁾].

²⁾ En las pruebas de los repetidores para pares microcoaxiales, la tensión de cresta máxima no debe exceder de 5 kV.

Si los descargadores no se ceban con 7 kV²⁾ o si los repetidores sometidos a pruebas de prototipo no están provistos de descargadores, es posible que no sea apropiada la forma de onda propuesta anteriormente. El generador de prueba anteriormente indicado puede producir un impulso que simule una descarga disruptiva en el cable cuando se conecta en paralelo un espinterómetro de tensión de cebado apropiada. Cuando se prevén descargadores, y si éstos se ceban en las condiciones de prueba que se mencionan más arriba, la tensión de carga del condensador C_1 debe reducirse progresivamente hasta que dejen de cebarse.

3.1.1.1.2 Pruebas con corriente alterna³⁾

Se aplicará durante 0,5 segundos una tensión a la frecuencia del sector de un valor eficaz tal que dé lugar a una diferencia de potencial de 1200 V en una resistencia de 150 ohmios:

- a la entrada del repetidor, con la salida terminada con una resistencia de 150 ohmios;
- a la salida del repetidor, con la entrada terminada con una resistencia de 150 ohmios.

La impedancia de la fuente de tensión debe ser tal que las corrientes que circulen estén comprendidas entre 8 y 10 A.

La f.e.m. de la fuente de tensión debe ser tal que cuando se aplique a una resistencia de 150 ohmios aparezca en los extremos de esa resistencia una diferencia de potencial de 1200 V eficaces, por lo menos. La figura 4/K.17 representa un ejemplo de un circuito de prueba apropiado para la frecuencia de 50 Hz.

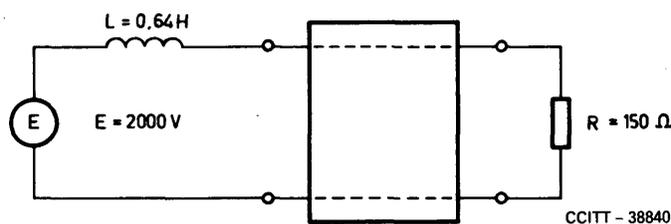


FIGURA 4/K.17

Ejemplo de circuito para pruebas con corriente alterna de 50 Hz

3.1.1.1.3 Pruebas con una tensión alterna inducida en régimen permanente

Estas pruebas deben efectuarse de acuerdo con el § 2.3.

3.1.1.2 Pruebas en los terminales del circuito de telealimentación del repetidor

3.1.1.2.1 Pruebas con impulsos

Estas pruebas se efectuarán en las condiciones indicadas en la segunda columna del cuadro 1/K.17.

Para esta prueba, el condensador C_1 puede cargarse a 5 kV o a una tensión menor, a condición de que la corriente de cresta en el circuito de telealimentación alcance los 50 A.

3.1.1.2.2 Pruebas con corriente alterna

Estas pruebas consisten en hacer circular por el circuito de telealimentación una corriente alterna de la intensidad y frecuencia que sean de esperar en servicio. Esta corriente se aplicará durante 0,5 segundos y no deberá exceder de 10 A, valor eficaz.

3.1.1.2.3 Pruebas con una tensión alterna inducida en régimen permanente

Estas pruebas deben efectuarse conforme al § 2.3.

²⁾ En las pruebas de los repetidores para pares microcoaxiales, la tensión de cresta máxima no debe exceder de 5 kV.

³⁾ Esta parte de la Recomendación podrá modificarse como consecuencia de futuros estudios y experiencias. Si una Administración considera que estos valores son demasiado altos para sus necesidades, dadas las condiciones locales, puede especificar un valor menor.

3.1.2 *Pruebas de aceptación*

3.1.2.1 *Pruebas en los terminales de entrada y de salida del repetidor*

Estas pruebas se efectuarán en las condiciones indicadas en la tercera columna del cuadro 1/K.17.

3.1.2.2 *Pruebas en los terminales del circuito de telealimentación del repetidor*

Estas pruebas se efectuarán en las condiciones indicadas en la cuarta columna del cuadro 1/K.17. Para las pruebas se puede cargar el condensador C_1 con 3 kV, o con una tensión menor, a condición de que la corriente de cresta en el circuito de telealimentación alcance los 50 A.

3.2 *Condiciones de prueba relativas a los repetidores para pares simétricos*

3.2.1 *Pruebas de prototipo*

3.2.1.1 *Pruebas en los terminales de entrada y de salida del repetidor*

3.2.1.1.1 *Pruebas con impulsos*

Para estas pruebas se utilizará una forma de onda de las características indicadas en la quinta columna del cuadro 1/K.17.

Si la rigidez dieléctrica de los pares simétricos fuera mayor que la de los pares aislados con papel, sería oportuno utilizar una tensión de cresta más elevada que la indicada en el cuadro 1/K.17.

Cuando se prevén descargadores y éstos se ceban en las condiciones de prueba mencionadas, la tensión de carga del condensador C_1 debe reducirse progresivamente hasta que dejen de cebarse.

Observación – Cuando hay descargadores entre los terminales de entrada y salida del repetidor y su chasis, uno de los terminales debe conectarse al chasis antes de hacer la prueba de tensión transversal para simular el cebado de un descargador.

3.2.1.1.2 *Pruebas con corriente alterna*

No se especifican pruebas de este tipo.

3.2.1.2 *Pruebas en los terminales del circuito de alimentación del repetidor*

3.2.1.2.1 *Pruebas con impulsos*

Se efectuarán en las condiciones indicadas en la sexta columna del cuadro 1/K.17.

3.2.1.2.2 *Pruebas con corriente alterna*

Consisten en hacer circular por el circuito de alimentación una corriente alterna de la intensidad y frecuencia que cabe esperar en servicio. Esta corriente se aplicará durante 0,5 segundos.

Pueden omitirse estas pruebas si es improbable que los repetidores experimenten, en el medio en que han de funcionar, fuerzas electromotrices longitudinales inducidas por líneas de distribución de energía eléctrica capaces de producir corrientes longitudinales.

3.2.1.2.3 *Pruebas con tensión alterna inducida en régimen permanente*

Se efectuarán de acuerdo con el § 2.3.

3.2.2 *Pruebas de aceptación*

3.2.2.1 *Pruebas en los terminales de entrada y de salida del repetidor*

Se efectuarán en las condiciones indicadas en la séptima columna del cuadro 1/K.17.

3.2.2.2 Pruebas en los terminales del circuito de alimentación del repetidor

Se efectuarán en las condiciones indicadas en la octava columna del cuadro 1/K.17.

Referencias

- [1] Publicación 60-2/1973 de la CEI.
- [2] Recomendación del CCITT *Modulación y fluctuación de fase no deseadas*, Tomo III, fascículo III.2, Rec. G.229, § 1.3.
- [3] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicaciones contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, capítulo IV, números 6, 7 y 35, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1963, 1965, 1974, 1978.

Recomendación K.18

CÁLCULO DE LAS TENSIONES INDUCIDAS EN LÍNEAS DE TELECOMUNICACIÓN POR EMISIONES DESDE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS Y MÉTODOS PARA REDUCIR LAS INTERFERENCIAS

1 Introducción

Si bien en los circuitos por cable subterráneo rara vez se observan interferencias inducidas por las ondas radioeléctricas, hay muchos ejemplos conocidos de esa clase de interferencia en los circuitos por línea aérea de hilo desnudo, cable aéreo o cable de interiores.

La interferencia en los circuitos de frecuencias vocales aparece porque la onda radioeléctrica inducida es detectada y demodulada por los componentes no lineales de un aparato telefónico o por la capa de óxido metálico que se forma en los empalmes del conductor. Esa interferencia es casi siempre un ruido inteligible y puede aparecer en un radio de hasta 5 km en torno a una estación radioeléctrica cuya potencia radiante sea superior a varias decenas de kilovatios.

En los circuitos de transmisión por portadoras o de señales video, la onda radioeléctrica inducida degrada la calidad de funcionamiento del circuito cuando su frecuencia cae dentro de la gama de funcionamiento del sistema de transmisión. Generalmente la interferencia consiste en un tono puro que cae dentro de un canal telefónico y que es ininteligible. Esta reduce la relación señal/ruido (S/R) del sistema de transmisión. Esta interferencia puede aparecer en una amplia zona en torno a una estación radioeléctrica. Sólo en unos pocos casos se ha informado de interferencias en circuitos de transmisión de señales video pero es de esperar que cuando aumente el número de servicios de transmisión de señales video las interferencias provoquen un problema serio.

Un ejemplo poco corriente de perturbación provocada por corrientes de ondas radioeléctricas inducidas es el de las quemaduras sufridas por personal de mantenimiento de la planta exterior. Sólo se ha informado de estos problemas en zonas inmediatamente próximas a una antena de una estación radioeléctrica.

2 Análisis de las interferencias

Para el análisis teórico de la tensión inducida por una onda radioeléctrica, se parte de las siguientes condiciones:

- La resistividad del suelo es homogénea y uniforme.
- El cable o hilo está tendido en línea recta a una altura constante sobre el suelo.
- La pantalla metálica del cable está puesta a tierra en ambos extremos.
- El campo eléctrico de la onda radioeléctrica tiene una intensidad constante y un ángulo de incidencia también constante y el cambio de fase a lo largo del cable es uniforme.
- La onda radioeléctrica tiene inicialmente polarización vertical. Sin embargo, cuando se propaga a lo largo de la superficie del suelo, se genera una componente horizontal debido a la conductividad finita del suelo.

Las constantes y las variables utilizadas para el análisis teórico figuran en el anexo A.

2.1 En el caso de líneas de telecomunicación sin pantalla metálica, la componente horizontal del campo eléctrico de la onda radioeléctrica actúa directamente como una fuerza electromotriz en las líneas de telecomunicación. Ello da origen a ruido inducido en los terminales cuando el circuito tiene un desequilibrio de impedancia con relación a tierra. Las tensiones longitudinales inducidas en los extremos de una línea de telecomunicación sin pantalla metálica vienen dadas por ecuaciones (B-1) y (B-2).

2.2 En el caso de cables de telecomunicación con pantalla metálica, la componente horizontal del campo eléctrico de la onda radioeléctrica actúa como una fuerza electromotriz que hace que la corriente inducida pase al circuito de retorno por tierra, compuesto por la pantalla metálica del cable y la tierra. Debido a la corriente que pasa por la pantalla metálica, se induce una fuerza electromotriz en los conductores a través de la impedancia de transferencia entre los conductores y la pantalla metálica. Esa fuerza electromotriz puede provocar perturbaciones en los circuitos metálicos del cable, dependiendo del grado de desequilibrio del circuito con respecto a la pantalla metálica (o a tierra).

Las tensiones longitudinales inducidas en los extremos de un cable de telecomunicación con pantalla metálica vienen dadas por las ecuaciones (B-3) y (B-4). Se aclara en la referencia [1] que los valores calculados mediante estas ecuaciones concuerdan con los valores medidos.

2.3 Las ecuaciones son muy complicadas y comprenden muchos parámetros. Por eso, conviene calcular un valor aproximado de la máxima tensión longitudinal inducida dado por la siguiente ecuación simplificada:

$$V_2 (0) \text{ dB} [\approx V_2 (l)] = 20 \log_{10} V_2 (0) \\ = 20 \log_{10} \frac{PE_v (\cos \theta) Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300 \quad (2-1)$$

donde

$$l \geq \frac{1.5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \quad (2-2)$$

$$20 \Omega < |Z_{1R}|, |Z_{1L}| \leq |Z_{01}| \quad (2-3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (dB/km)}$$

α_{20} es la atenuación por unidad de longitud a 1 MHz (dB/km)

f es la frecuencia en Hz de la onda radioeléctrica

En el anexo A se indican otras constantes y variables

La ecuación (2-1), que da la máxima tensión longitudinal inducida en dB (0 dB = 0,775 V) se obtiene basándose en lo siguiente:

La tensión longitudinal inducida calculada por medio de las ecuaciones del anexo B presenta un primer valor de cresta para una longitud del cable

$$l = \frac{1.5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8$$

alcanzando a continuación una serie de valores de cresta. Su valor máximo aparece para una de las primeras crestas a lo largo del cable para una longitud

$$l \geq \frac{1.5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8$$

La tensión longitudinal inducida alcanza su valor máximo en una de las primeras crestas debido a la atenuación de las ondas radioeléctricas a lo largo del cable (véase la figura 3/K.18).

El error debido a la aplicación de la ecuación (2-1) en lugar de la de las ecuaciones rigurosas del anexo B se menciona en el anexo C.

2.4 Cuando la configuración de línea es muy compleja, hay que dividir la línea en varios segmentos y calcular la tensión longitudinal inducida para cada segmento mediante las ecuaciones (B-1) a (B-4). Las tensiones inducidas estimadas de cada segmento se combinan entonces para obtener la tensión inducida total, teniendo en cuenta las características de transmisión y las condiciones de contorno de la línea de que se trata.

Cuando se emplea para una línea compleja la ecuación simplificada (2-1) puede utilizarse para la determinación de la tensión longitudinal inducida máxima un modelo correspondiente a una línea recta. Los cálculos deben comenzar partiendo del punto más próximo a la estación radioeléctrica y ha de emplearse el menor valor del ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica.

2.5 Cuando se procede a una medición práctica de la intensidad de campo de la onda radioeléctrica, puede sustituirse E_v en la ecuación (2-1) por el valor medido.

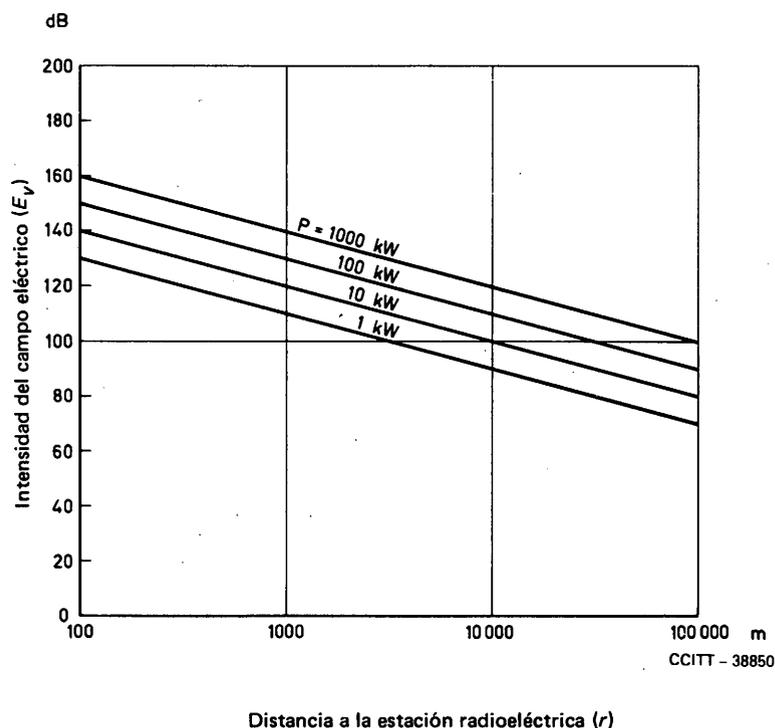
Cuando no se dispone del valor medido, la intensidad de campo eléctrico de la onda radioeléctrica E_v puede calcularse con la ecuación (2-4), teniendo en cuenta la distancia desde la estación radioeléctrica y la potencia de su transmisor [2].

$$E_v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1,5 P Z_0}{2\pi}} \quad (2-4)$$

donde

- P es la potencia de transmisión de la estación radioeléctrica (W);
- r es la distancia a la estación (m);
- Z_0 es la impedancia característica del espacio libre ($\approx 377 \Omega$)

La figura 1/K.18 representa los valores de E_v obtenidos a partir de la ecuación (2-4) empleando varios valores de P .



Observación - E_v viene en dB (0 dB = 1 μ V/m).

FIGURA 1/K.18
Intensidad del campo eléctrico de la onda radioeléctrica en función de la distancia a la estación radioeléctrica

2.6 El ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación puede variar con las circunstancias pertinentes.

Cuando la línea de telecomunicaciones se encuentra en campo despejado, puede aplicarse el valor del ángulo de incidencia medido o el calculado a partir de las posiciones relativas de la estación radioeléctrica y la línea de telecomunicación.

Cuando la línea de telecomunicación está instalada cerca de estructuras que obstruyen la propagación de la onda radioeléctrica, puede considerarse que el ángulo de incidencia es de cero radianes en la condición más desfavorable.

2.7 La tensión longitudinal inducida en los extremos del cable de telecomunicación de la figura 2/K.18 se calcula utilizando el método simplificado siguiente:

Insertando en las ecuaciones (2-1) y (2-2) los valores de los parámetros P , f , α_{20} , β_2 y θ dados en la figura 2/K.18 junto con los valores calculados de E_v y Z_K , se obtienen los resultados siguientes:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

Además, utilizando $\theta = 0^\circ$ como valor más desfavorable, se obtiene:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

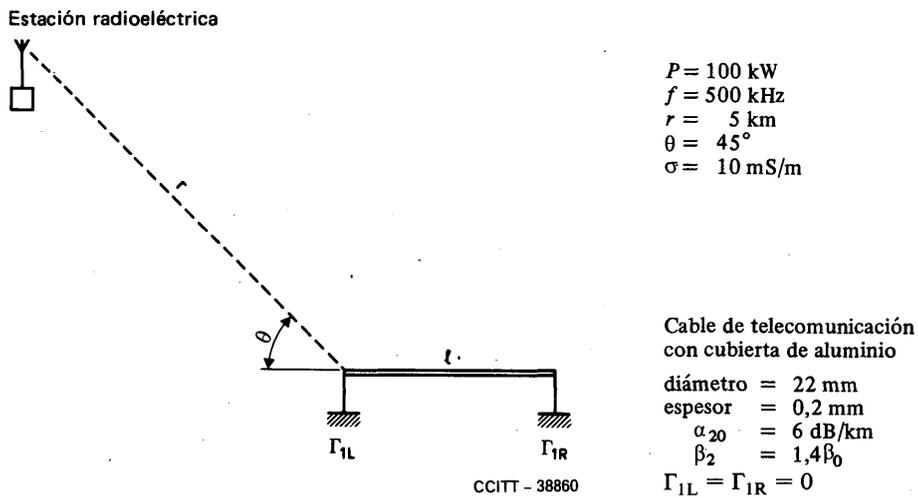


FIGURA 2/K.18

Posiciones relativas de una estación radioeléctrica y de un cable de telecomunicación

La figura 3/K.18 representa los resultados obtenidos mediante el cálculo simplificado en comparación con el resultado calculado con la ecuación rigurosa del anexo B, donde los valores de V_2 se expresan en función de la longitud del cable. Parece que el método simplificado es adecuado para evaluar la mayor de las interferencias que puedan surgir.

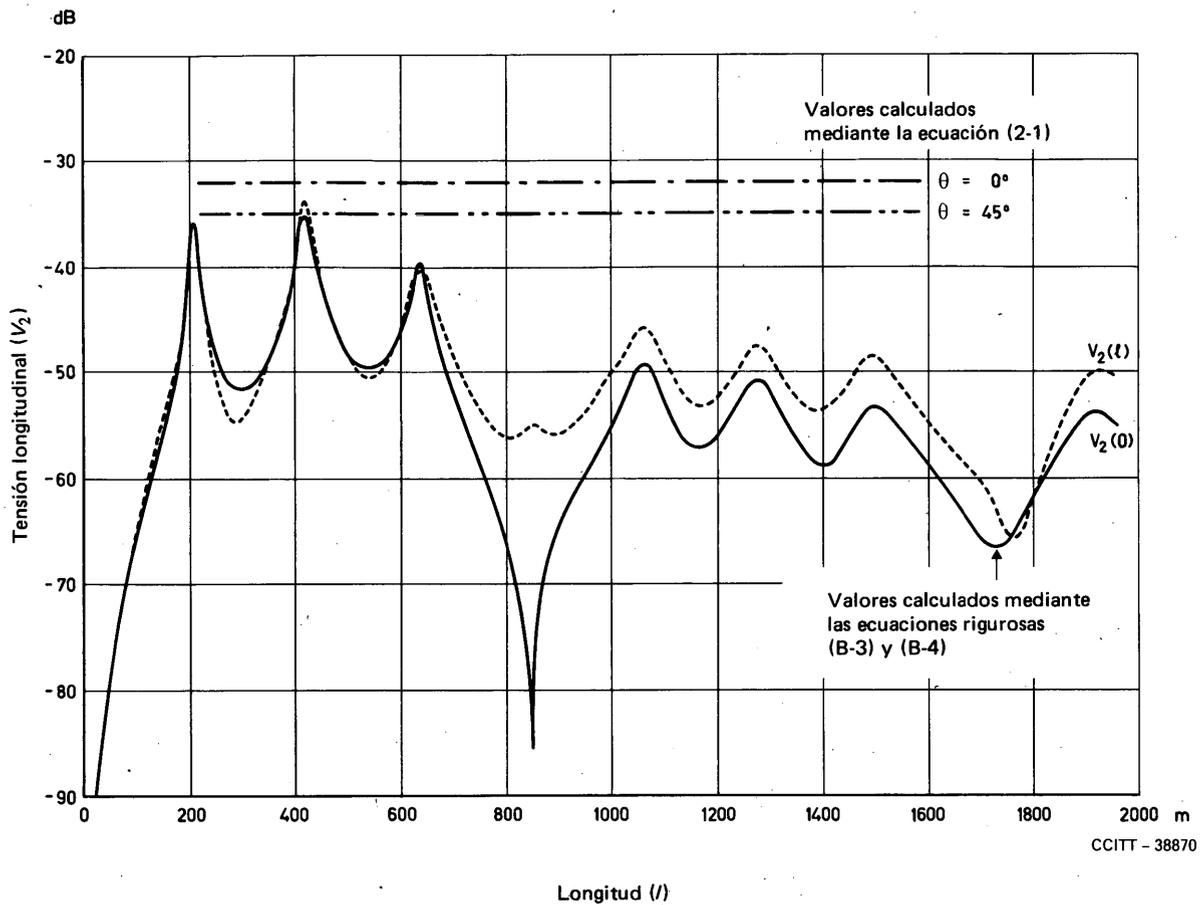


FIGURA 3/K.18
Tensión longitudinal calculada en los extremos del cable de la figura 2/K.18

2.8 Las tensiones longitudinales que dan origen al ruido surgen por el equilibrio imperfecto del circuito respecto a la pantalla metálica (o a tierra). Cuando se utiliza la relación λ entre las tensiones longitudinal y transversal puede obtenerse fácilmente el valor de los niveles de ruido a partir de los valores calculados o medidos de la tensión longitudinal inducida.

$$V = \lambda \cdot V_2$$

donde,

V_2 [$V_2(0)$ o $V_2(l)$] es la tensión longitudinal en los extremos del circuito longitudinal en circuito abierto,

V [$V(0)$ o $V(l)$] es la tensión transversal en los extremos del circuito terminado en sus dos extremos por su impedancia característica.

Por ejemplo, en el caso indicado en la figura 2/K.18 y para un valor de λ de -40 dB, el nivel de ruido, V se obtiene del siguiente modo:

[En este caso, $V_2 = -35$ dB (0 dB = $0,775$ V)]

$$V = -35 - 40 \text{ dB} = -75 \text{ dB}$$

3 Reducción de las interferencias

Para minimizar las interferencias se toman las medidas siguientes:

3.1 La interferencia causada a los circuitos de frecuencia vocal puede reducirse fácilmente mediante la inserción de un condensador de $0,01$ a $0,05 \mu\text{F}$ entre los conductores y la tierra del terminal de entrada o entre conductores en el circuito del terminal de entrada o del aparato telefónico, para derivar la corriente de la onda inducida radioeléctrica.

3.2 La interferencia causada a los sistemas de transmisión por portadoras y de señales video puede reducirse eficazmente con las siguientes medidas:

3.2.1 Debe incorporarse en el cable una pantalla adecuada, por ejemplo, una de aluminio de 0,2 mm de espesor que reduce las interferencias en unos 70 dB. La pantalla de aluminio debe ponerse a tierra en ambos extremos con una resistencia de puesta a tierra inferior a $|Z_{01}| \Omega$, cuando la conductividad del suelo es inferior a 0,1 S/m. Si se aumenta el espesor de la pantalla de aluminio, pasando de 0,2 mm a 1,0 mm, se puede conseguir una reducción adicional de 50 a 60 dB.

3.2.2 Los conductores deben estar completamente blindados por una pantalla metálica que rodee los empalmes y terminales del cable.

Observación – Si se retiran unos 30 cm de pantalla metálica, la tensión inducida aumenta en unos 30 dB, aunque la pantalla metálica esté eléctricamente conectada. Cuando se retiran 5 cm de pantalla metálica en el extremo de un cable, la tensión inducida aumenta en unos 10 dB.

3.2.3 En las secciones susceptibles de verse afectadas por interferencias de ondas radioeléctricas, debieran instalarse cables subterráneos o emplearse diferentes encaminamientos para el cable.

3.2.4 Para conseguir una relación señal/ruido (S/R) aceptable para el sistema, debiera reducirse la distancia entre repetidores.

3.2.5 Debe mejorarse (disminuir) el desequilibrio de admitancia con respecto a la tierra del equipo terminal y de los repetidores a la frecuencia de la onda radioeléctrica.

3.2.6 Debe emplearse un ajuste de preatenuación de nivel en el sistema de transmisión.

3.3 Para reducir la tensión inducida peligrosa para el personal de mantenimiento, puede insertarse un condensador entre los conductores y tierra a intervalos adecuados dentro de la sección inducida para derivar la corriente inducida.

En este caso, cuando se seleccione la capacitancia adecuada, hay que tener cuidado de proporcionar la atenuación mínima en la gama de frecuencias de transmisión y una puesta a tierra eficaz a la frecuencia de la onda radioeléctrica. Al mismo tiempo, deberá tenerse cuidado para evitar daños en el condensador debidos a sobretensiones que aparezcan en los conductores.

ANEXO A

(a la Recomendación K.18)

Constantes y variables utilizadas en la Recomendación K.18

A.1 La relación, P , entre la componente horizontal y la componente vertical del campo eléctrico de una onda radioeléctrica que se propague por la superficie del suelo viene dada por:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega \epsilon_0}{\sigma}} \quad (\text{A-1})$$

donde

E_h es la componente horizontal de la intensidad de campo eléctrico de la onda radioeléctrica (V/m);

E_v es la componente vertical de la intensidad de campo eléctrico de la onda radioeléctrica (V/m);

ϵ_r es la constante dieléctrica característica del suelo;

ϵ_0 es la constante dieléctrica del espacio libre (F/m);

Z_0 es la impedancia intrínseca del espacio libre (Ω);

β_0 es la constante de fase del espacio libre (rad/m);

σ es la conductividad del suelo (S/m);

ω es la pulsación de la onda radioeléctrica (rad/s);

f es la frecuencia de la onda radioeléctrica (Hz).

A.2 La impedancia de transferencia, Z_k , de la pantalla metálica de una cubierta de cable viene dada por:

$$Z_K = \frac{Kt}{\sinh Kt} \cdot R_{dc} \quad \Omega/m \quad (A-2)$$

donde

R_{dc} es la resistencia en corriente continua por unidad de longitud de la pantalla metálica (Ω/m);

$$K = \sqrt{j\omega\mu g}$$

μ es la permeabilidad de la pantalla metálica (H/m);

g es la conductividad de la pantalla metálica (S/m);

t es el espesor de la pantalla metálica (m).

A.3 En relación con los símbolos siguientes, véase la figura A-1/K.18.

θ es el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación (rad);

l es la longitud del cable (m);

x es la distancia a lo largo del cable desde el extremo del cable cercano a la estación radioeléctrica (m);

Z_{01} es la impedancia característica del circuito de retorno por tierra (Ω);

γ_1 es la constante de propagación del circuito de retorno por tierra;

Z_{02} es la impedancia característica del circuito longitudinal (Ω);

γ_2 es la constante de propagación del circuito longitudinal;

Z_{1L}, Z_{1R} son las impedancias terminales del circuito de retorno por tierra (Ω);

Z_{2L}, Z_{2R} son las impedancias terminales del circuito longitudinal (Ω);

$$\Gamma_{1L} = \frac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}} \quad \text{es el coeficiente de reflexión de corriente del circuito de retorno por tierra para } x = 0;$$

$$\Gamma_{1R} = \frac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}} \quad \text{es el coeficiente de reflexión de corriente del circuito de retorno por tierra para } x = l;$$

$$\Gamma_{2L} = \frac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}} \quad \text{es el coeficiente de reflexión de corriente del circuito longitudinal para } x = 0;$$

$$\Gamma_{2R} = \frac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}} \quad \text{es el coeficiente de reflexión de corriente del circuito longitudinal para } x = l;$$

$V_{1m}(x)$ (para $m = 0$) es la tensión en el circuito de retorno por tierra con adaptación en ambos extremos;

$V_{1m}(x)$ (para $m = L$) es la tensión en el circuito de retorno por tierra con desadaptación para $x = 0$;

$V_{1m}(x)$ (para $m = R$) es la tensión en el circuito de retorno por tierra con desadaptación para $x = l$;

$V_{2m}(x)$ (para $m = 0$) es la tensión en el circuito longitudinal con adaptación en ambos extremos;

$V_{2m}(x)$ (para $m = L$) es la tensión en el circuito longitudinal con desadaptación para $x = 0$;

$V_{2m}(x)$ (para $m = R$) es la tensión en el circuito longitudinal con desadaptación para $x = l$.

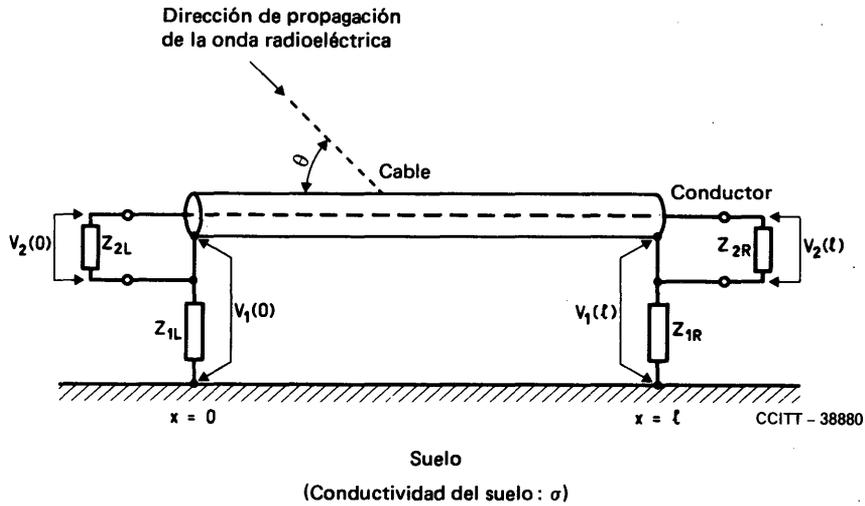


FIGURA A-1/K.18
Terminación del circuito de retorno por tierra (Z_{1L} , Z_{1R})
y del circuito longitudinal (Z_{2L} , Z_{2R})

ANEXO B

(a la Recomendación K.18)

Cálculo de la tensión longitudinal inducida

B.1 Líneas de telecomunicación sin pantalla metálica

Las tensiones longitudinales inducidas en los extremos de una línea de telecomunicación sin pantalla metálica vienen dadas por las ecuaciones (B-1) y (B-2):

Tensión longitudinal inducida en el extremo más próximo a la estación radioeléctrica:

$$\begin{aligned}
 V_1(0) &= V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0) \\
 V_{10}(0) &= -\frac{PE_V \cos \theta}{2} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \\
 V_{1L}(0) &= \frac{-\Gamma_{1L} [1 - \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
 V_{1R}(0) &= \frac{-\Gamma_{1R} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1L}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
 \end{aligned}
 \tag{B-1}$$

Tensión longitudinal inducida en el extremo más alejado de la estación radioeléctrica:

$$\begin{aligned}
 V_1(l) &= V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l) \\
 V_{10}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \\
 V_{1L}(l) &= \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1R}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l) \\
 V_{1R}(l) &= \frac{-\Gamma_{1R} [1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
 \end{aligned} \tag{B-2}$$

Las constantes y las variables figuran en el anexo A.

B.2 Cables de telecomunicación con pantalla metálica

Las tensiones longitudinales inducidas en los extremos de un cable de telecomunicación con pantalla metálica vienen dadas por las ecuaciones (B-3) y (B-4).

Tensión longitudinal inducida en el extremo más próximo a la estación radioeléctrica:

$$\begin{aligned}
 V_2(0) &= V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0) \\
 V_{20}(0) &= -\frac{PE_V (\cos \theta) Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \left. \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos \theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \right] \\
 V_{2L}(0) &= \frac{-\Gamma_{2L} [1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(0) &= \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2L}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)
 \end{aligned} \tag{B-3}$$

Tensión longitudinal inducida en el extremo más alejado de la estación radioeléctrica:

$$V_2(l) = V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l)$$

$$V_{20}(l) = \frac{PE_V \cos \theta Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \right) \right. \\ \left. + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \left(\Gamma_{1R} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} \Gamma_{1L} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \right) \right] \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \\ + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \\ \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \quad (B-4)$$

$$V_{2L}(l) = \frac{-\Gamma_{2L} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2R}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0)$$

$$V_{2R}(l) = \frac{-\Gamma_{2R} [1 - \Gamma_{2L} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)$$

Las constantes y las variables figuran en el anexo A.

ANEXO C

(a la Recomendación K.18)

Errores en los que se incurre al emplear la ecuación (2-1)

La ecuación (2-1) simplificada se puede emplear cuando $3 \text{ dB/km} \leq \alpha_{20} \leq 30 \text{ dB/km}$, $1,2 \beta_0 \leq \beta_2 \leq 3 \beta_0$, $500 \text{ kHz} \leq f \leq 1,6 \text{ MHz}$, $10 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$, $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, $0,1 \text{ mS/m} \leq \sigma \leq 500 \text{ mS/m}$ y $-1 \leq \Gamma \leq 1$. Esas condiciones se consideran suficientes para los cables aéreos.

El error que se introduce al emplear la ecuación (2-1) en lugar del método más riguroso del anexo B depende de los valores de σ y de Γ más que de otros parámetros. Este ejemplo se ilustra en la figura C-1/K.18. El error se muestra en el cuadro C-1/K.18 correspondiente a la gama de valores (σ , Γ) de la figura C-2/K.18. Aquí se considera únicamente la gama de $\Gamma_1 \geq 0$ porque $|Z_1| \leq Z_{01}$ puede lograrse fácilmente. La gama (I) indicada en la figura C-2/K.18 es el caso normal, mientras que las gamas (II) y (IV) son raras y la gama (III) es difícil de lograr. En una gama que tenga un gran error (por ejemplo, las gamas II, III y IV) o cuando la longitud del cable sea demasiado corta para que satisfaga a la ecuación (2-2), es conveniente efectuar los cálculos por medio del método riguroso del anexo B.

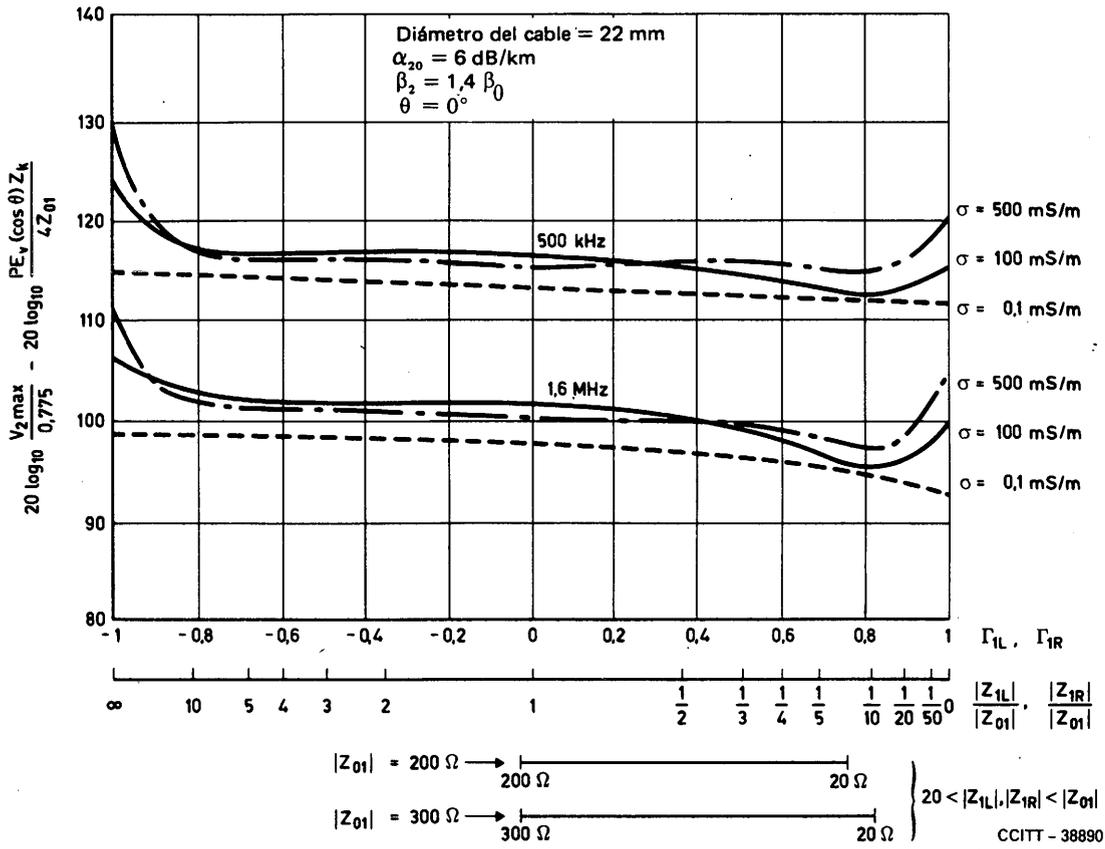


FIGURA C-1/K.18

Ejemplo de la relación entre la tensión longitudinal inducida y (σ, Γ)

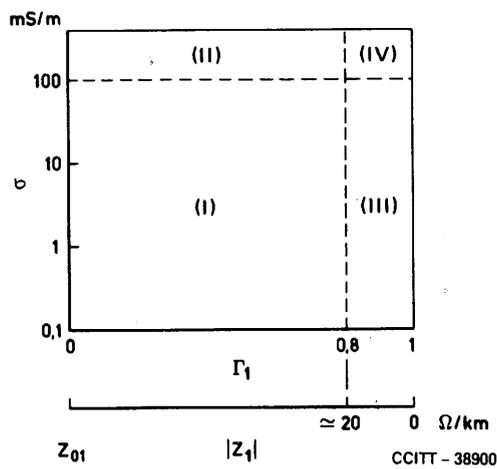


FIGURA C-2/K.18

Gamas de (σ, Γ)

CUADRO C-1/K.18

Errores por utilización de la ecuación (2-1) comparados con los resultados obtenidos empleando el método riguroso del anexo B

Gama	Error
(I) (caso normal)	$\pm 5 \text{ dB}$
(II) (caso raro)	$\pm 8 \text{ dB}$
(III) (caso raro)	de -5 a $+15 \text{ dB}$
(IV) (caso raro)	de -5 a $+23 \text{ dB}$

(a la Recomendación K.18)

**Influencia, del medio ambiente que rodea a la línea de telecomunicación,
sobre el campo eléctrico medido de una onda radioeléctrica**

(Informe de la NTT)

La intensidad de campo eléctrico de la onda radioeléctrica no se ve afectada por el medio ambiente que rodea a la línea de telecomunicación y se aproxima muchísimo al valor calculado teóricamente (véase la figura D-1/K.18).

Por otra parte, el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación se ve afectado por varios factores pudiendo resultar difícil el determinar un valor preciso. Sin embargo, en campo despejado, el ángulo de incidencia medido de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación concuerda apreciablemente con el valor calculado a partir de las posiciones relativas de la estación radioeléctrica y la línea de telecomunicación (véase la figura D-2/K.18).

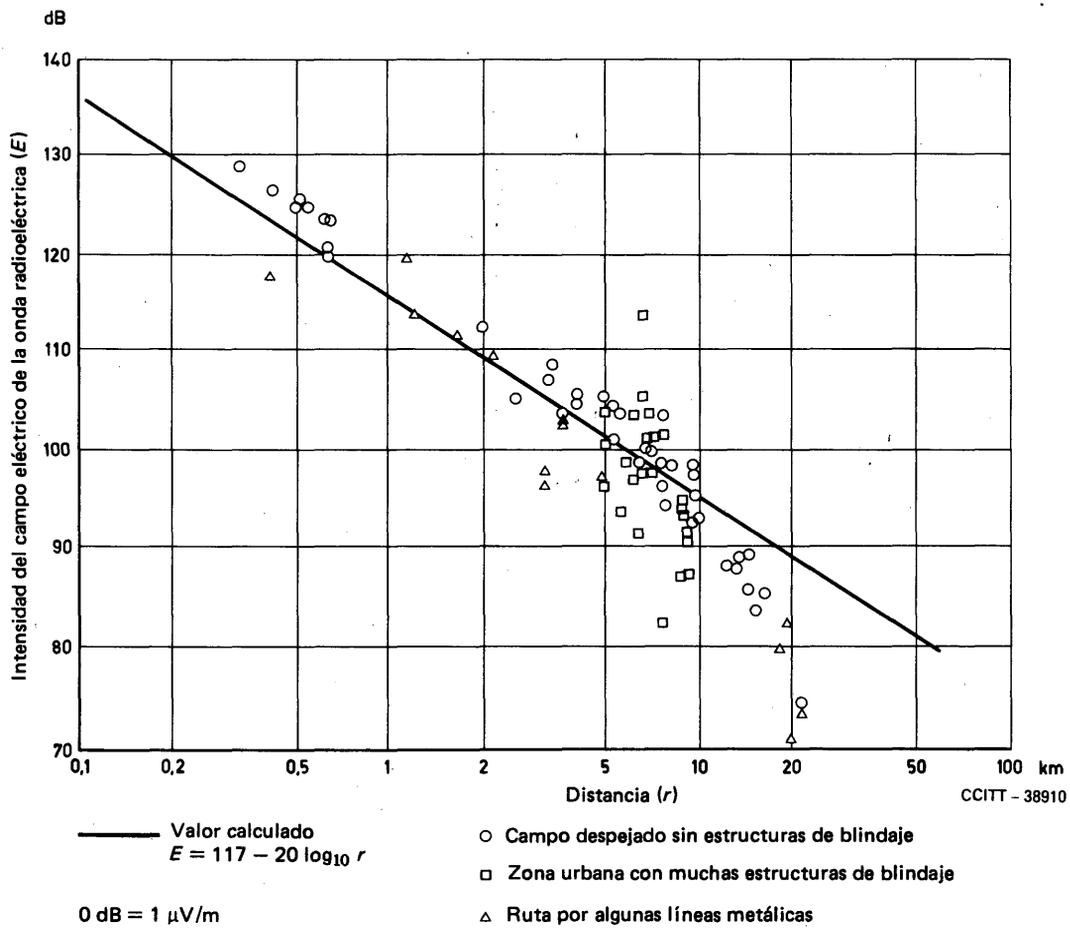


FIGURA D-1/K.18

**Intensidad del campo eléctrico de la onda radioeléctrica en función de
la distancia desde la estación radioeléctrica**

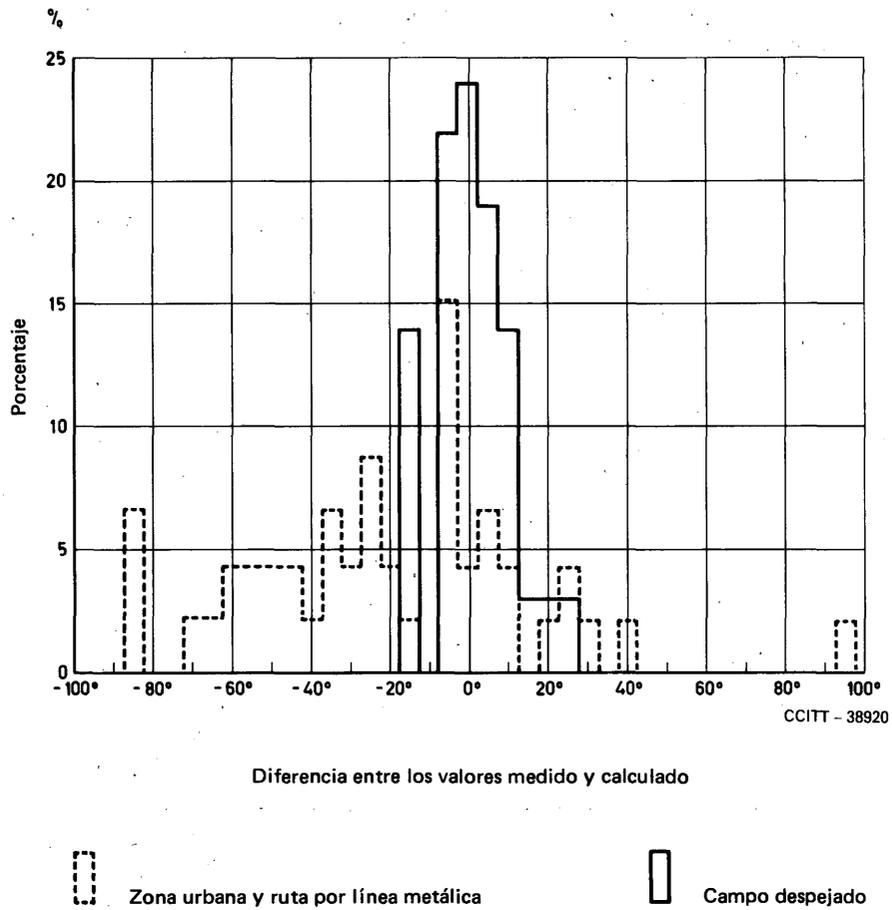


FIGURA D-2/K.18
Histograma de la diferencia entre los valores medido y calculado del
ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación

ANEXO E

(a la Recomendación K.18)

Ejemplos de la relación λ entre tensiones longitudinales y transversales inducidas

(Informe de NTT)

Se midieron, en condiciones reales, tensiones longitudinales y transversales (de ruido), inducidas por ondas radioeléctricas en cables aéreos.

En la figura E-1/K.18 se presentan ejemplos de valores de λ obtenidos a partir de valores medidos de la tensión longitudinal V_1 y la tensión transversal V_2 ($\lambda = V_1 - V_2$ dB).

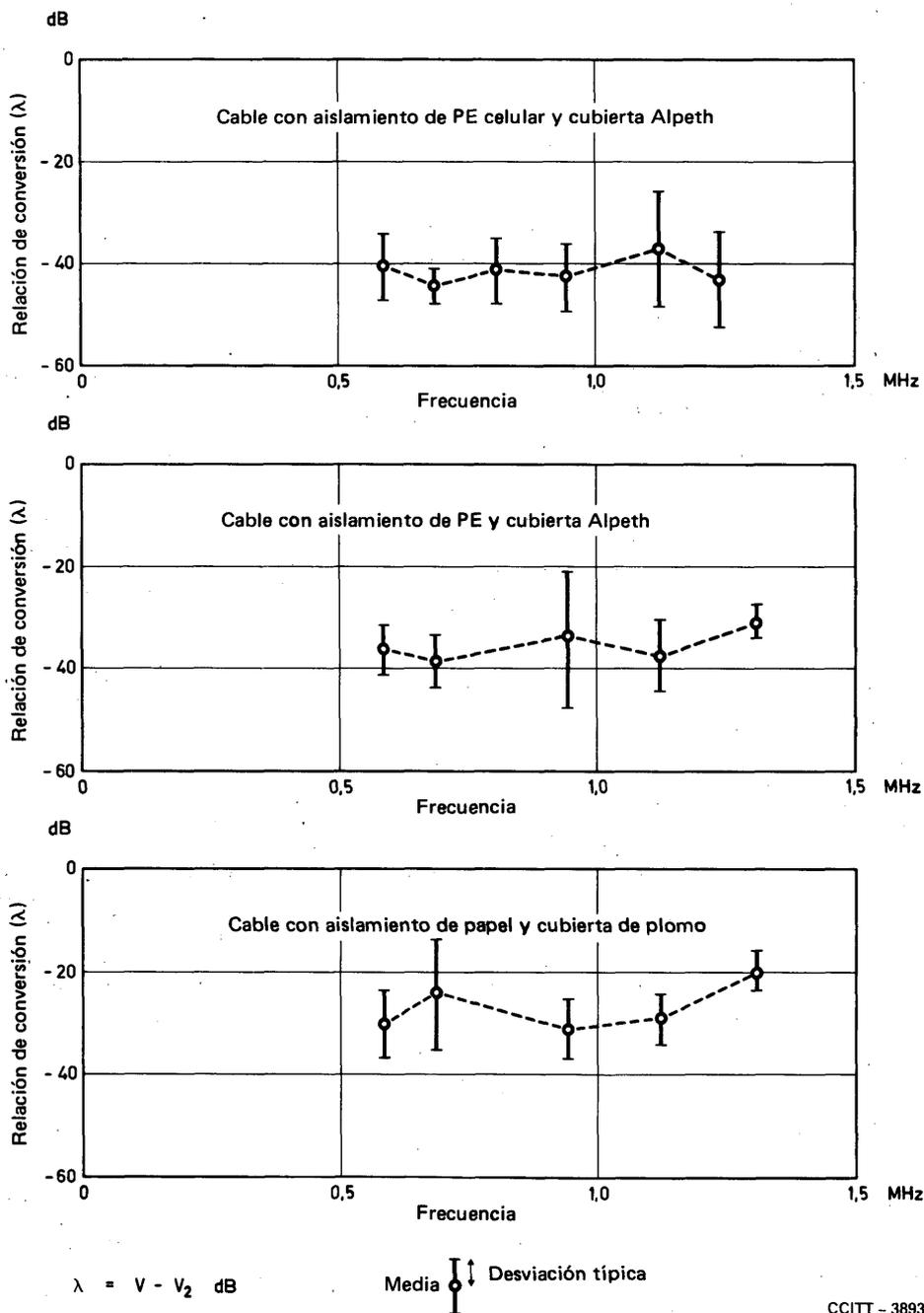


FIGURA E-1/K.18
Ejemplos de relación de conversión, λ

ANEXO F

(a la Recomendación K.18)

Ejemplos de interferencias de ondas radioeléctricas y medidas adoptadas en varios países para contrarrestarlas

(Basado en el Informe del Relator Especial presentado a la reunión de 1978 de la Comisión de Estudio V)

Los ejemplos de interferencias inducidas por ondas radioeléctricas en sistemas de telecomunicación y de las medidas tomadas para contrarrestarlas se recopilan y resumen según se indica en el cuadro F-1/K.18.

Rara vez se observaron interferencias inducidas por ondas radioeléctricas en circuitos de cables enterrados o subterráneos.

CUADRO F-1/K.18

Interferencias inducidas por la onda radioeléctrica y medidas para contrarrestarlas

Tipo de circuito	Onda radioeléctrica inductora		Zona afectada e intensidad del campo eléctrico	Condición del circuito relacionada con la interferencia	Interferencia	Medida para contrarrestar la interferencia
	Frecuencia	Potencia				
Círculo de frecuencias vocales	Ondas kilométricas y hectométricas (radio-difusión, principalmente)	Varias decenas de kW	En un radio de 5 km en torno a la estación radioeléctrica (varios V/m)	<ul style="list-style-type: none"> - Cable aéreo (con cubierta de plástico, con o sin pantalla metálica, o con cubierta de plomo) Hilo desnudo 	Ruido inteligible demodulado de un programa radiofónico, a veces ininteligible	<ul style="list-style-type: none"> - Inserción de condensadores (en los terminales de entrada del aparato telefónico) - Sustitución por cable con pantalla metálica - Apantallamiento del par de acometida - Inserción de una bobina de choque en el circuito
Círculo de alta frecuencia p.e. de transmisión por portadoras	Ondas kilométricas y hectométricas (principalmente hectométricas)	Varios kW	<ul style="list-style-type: none"> - En el caso de interferencia al sistema de portadoras de abonado, se han comunicado hasta casi 1000 km (0,03-1,8 V/m) 	<ul style="list-style-type: none"> - Principalmente cable aéreo con pantalla metálica (pares simétricos, pares coaxiales) - Cableado en edificios (entre múltiplex y antena, entre etapas demodulación) - Hilo desnudo 	Tono único o ruido ininteligible en canal telefónico demodulado (degradación de la relación SIR)	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la eficacia de blindaje del cable, del cableado, etc. - Mejora de la puesta a tierra de la cubierta del cable, repetidor, equipo terminal, etc. - Adopción de cables enterrados o subterráneos - Adopción de una ruta diferente para el cable - Aumento del nivel de la señal, disminución, de la separación entre repetidores - Compensación del desequilibrio de admittancia del par
Calentamiento por radiofrecuencias	Ondas hectométricas (radio-difusión)	-	En las cercanías de la antena de la estación radioeléctrica	<ul style="list-style-type: none"> - Hilo desnudo - Par de acometida 	Quemaduras causadas por radiofrecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Inserción de condensadores entre los conductores y tierra

Referencias

- [1] SATO (T.), NAKAHIRA (M.), KOJIMA (N.): Radio Wave Interference in Overhead Communication Cables, *Proceedings of the 22nd IWCS*, 1973.
- [2] SCHULZ (E.), VOGEL (W.): Beeinflussung von Trägerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeinflussungsquellen, *ETZ-A*, Bd. 85, H.20, 1964.

Recomendación K.19

UTILIZACIÓN CONJUNTA DE ZANJAS Y GALERÍAS POR CABLES DE TELECOMUNICACIÓN Y CABLES DE LÍNEAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1 Consideraciones generales

La utilización conjunta de zanjas y galerías por cables de telecomunicación y cables de líneas de energía eléctrica puede, en condiciones favorables, ofrecer las siguientes ventajas:

- reducción del coste global;
- utilización más eficaz del espacio disponible para los servicios que emplean cables enterrados;
- reducción de las obras en las vías de circulación y, por consiguiente, menor perturbación del tráfico;
- mayor precisión en la separación entre los cables de líneas eléctricas y los cables de telecomunicación.

2 Seguridad en las instalaciones eléctricas

Cuando los cables de líneas eléctricas y los de telecomunicación no sean fáciles de distinguir, deben estar claramente marcados.

Los de líneas eléctricas deben enterrarse generalmente a mayor profundidad que los de telecomunicación.

Los cables de líneas eléctricas y los de telecomunicación deben estar separados por una distancia adecuada según:

- a) la tensión de la línea eléctrica,
- b) el tipo de cable de la línea eléctrica,
- c) el tipo de cable de telecomunicación,
- d) la naturaleza del material de separación.

La distancia mínima viene estipulada a menudo en las normas nacionales.

La reglamentación nacional puede permitir el empleo de distancias menores cuando:

- el cable de la línea eléctrica tiene un neutro concéntrico empleado en baja tensión y el cable de telecomunicación tiene una armadura puesta a tierra, o
- los cables están separados por relleno de hormigón u otro material similar.

Si existe un peligro para el personal durante las excavaciones manuales, los cables de líneas eléctricas de alta tensión deberán estar protegidos por capas de material adecuado (ladrillo, hormigón, etc.).

3 Inducción electromagnética

Para evitar que las líneas eléctricas causen, a los cables de telecomunicación, riesgos e interferencias lo suficientemente importantes para que sean inadmisibles, deberán observarse las *Directrices*. Esos efectos son de esperar especialmente cuando:

- a) el cable de la línea eléctrica forma parte de una red que tiene un neutro directamente puesto a tierra;
- b) los conductores de fase (activos) de la línea eléctrica constituyen cables separados (por ejemplo, cables trifásicos de un solo núcleo), o

c) las corrientes en las líneas eléctricas tienen un alto contenido de armónicos.

No es de esperar que haya riesgos ni interferencias cuando:

- los cables de las líneas eléctricas trabajan en condiciones normales de explotación y, en el caso de cable trifásico de un solo núcleo, los cables de fase están debidamente dispuestos y traspuestos, o
- la longitud del recorrido paralelo es relativamente pequeña (por ejemplo, de algunos cientos de metros).

La disposición y la trasposición apropiadas de los conductores de fase del sistema de cables de líneas eléctricas son eficaces para reducir la inducción electromagnética.

La presencia de otros conductores metálicos en la galería (tuberías, refuerzos de hormigón, etc.) suele tener un efecto reductor en las tensiones longitudinales inducidas. La magnitud de este factor de apantallamiento depende en gran parte de las diversas instalaciones que haya en la galería y de la construcción de ésta y, por lo tanto, ha de determinarse en cada caso.

4 Otros riesgos

El uso conjunto de zanjas y galerías puede aumentar la exposición del personal de telecomunicaciones a otros riesgos como los siguientes:

- percusión de las líneas eléctricas durante la excavación;
- dificultades de acceso y problemas de aislamiento durante el trabajo en galerías;
- explosiones causadas por las fugas de tuberías de gas cuando estas tuberías utilizan también las galerías;
- acumulación de aire viciado en las galerías.

En el acuerdo sobre utilización conjunta deben incluirse métodos de protección adecuados para eliminar estos riesgos.

5 Limitaciones prácticas

Para que la utilización conjunta de zanjas y galerías sea eficaz es indispensable la cooperación disciplinada de todas las partes interesadas. Los deberes y responsabilidades de cada parte deben estar definidos con precisión. Puede ser necesario tomar medidas especiales para superar la limitación del espacio subterráneo y facilitar el mantenimiento ulterior de los cables; esas medidas especiales tienen que convenirse antes de iniciar las obras conjuntas de construcción.

PARTE II

Recomendaciones de la serie L

**PROTECCIÓN DE LAS CUBIERTAS DE CABLE
Y DE LOS POSTES**

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

Recomendación L.1

PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

El CCITT,

considerando

- (a) que la localización y reparación de las averías en los cables subterráneos pueden ocasionar gastos importantes;
- (b) que deben evitarse con el mayor cuidado las interrupciones de servicio que pueden originar esas averías, y
- (c) que, incluso después de hecha la reparación de la mejor manera posible, la calidad del cable y su duración normal pueden verse reducidas,

recomienda por unanimidad

que, al proceder al tendido de sus líneas de cable, las Administraciones se inspiren en el manual del CCITT *Recomendaciones relativas a la construcción, instalación y protección de los cables de telecomunicación en las redes públicas*, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, revisión 1974 y modificaciones y adiciones 1977.

Recomendación L.2

IMPREGNACIÓN DE LOS POSTES DE MADERA

El CCITT señala a la atención el interés económico que presenta la impregnación de los postes de madera que soportan las líneas aéreas de telecomunicación.

A fin de que las Administraciones, en particular aquellas cuyas redes estén poco desarrolladas, tengan algunas indicaciones sobre los procedimientos de impregnación de estos postes, el CCITT ha publicado un manual titulado *Preservación de postes de madera de líneas aéreas de telecomunicación* (UIT, Ginebra, 1974).

Este manual se funda en un primer proyecto establecido en 1968-1972 por la Administración argentina, enmendado y completado a base de la información facilitada por las Administraciones de Australia, Austria, Chile, Francia, Italia, República Federal de Alemania, Reino Unido y Suiza.

Recomendación L.3 (Mar del Plata, 1968)

ARMADURA DE LOS CABLES

1 Tipo de armadura

1.1 Los tipos de armadura más corrientes son:

- a) *Armadura de cinta* — Esta armadura consiste en una o varias cintas de acero enrolladas en espiral alrededor de la cubierta del cable, con cierta superposición.
- b) *Armadura de hilos* — Esta armadura consiste en hilos de acero de sección circular, plana o trapezoidal, enrollados en espiral alrededor de la cubierta del cable. La longitud del hilo necesario es relativamente grande.

1.2 Estos dos tipos de armadura se utilizan conjuntamente con otros medios exteriores de protección (capa de yute o de plástico), sea por razones de construcción o mecánicas, sea para asegurar una protección contra la corrosión.

2 Elección de la armadura

Si se decide utilizar una armadura, y al elegir entre las distintas posibilidades de construcción, se tendrán en cuenta el mayor número posible de condiciones locales de tendido, como:

- a) el tendido de los cables en canalizaciones o directamente en el suelo;
- b) la situación de la zanja a lo largo de carreteras o en terreno privado;
- c) los materiales utilizados para la cubierta del cable;
- d) la presencia de otros cables en el mismo trayecto, existentes o previstos;
- e) la naturaleza del suelo: rocoso, arenoso, corrosivo o no, y la presencia de microorganismos;
- f) la profundidad de la zanja que, en todo caso, debe ser de 50 cm como mínimo y, para cables importantes, de 80 cm por lo menos;
- g) el riesgo de inducción;
- h) el riesgo de ataques por roedores o insectos;
- i) la exposición al rayo;
- j) la importancia del enlace, que puede justificar precauciones especiales. La armadura de hilos de acero aporta en tal caso una protección suplementaria, sobre todo en las cámaras de registro;
- k) la longitud de tiro si es grande (por ejemplo, paso bajo un río). Como este caso es poco frecuente, no parece útil prever la construcción de un nuevo tipo de cable terrestre con elemento de tiro central.

3 Protección asegurada

En el caso de los cables enterrados directamente, la armadura contribuye a la seguridad de instalación y de funcionamiento. En efecto, protege a los cables contra:

- a) los accidentes mecánicos que puedan causar las piedras, las máquinas o las herramientas excavadoras;
- b) los roedores y los insectos;
- c) la corrosión química o electrolítica;
- d) los efectos de las descargas atmosféricas;
- e) los fenómenos de inducción debidos a la proximidad de líneas de transporte de energía.

4 Armadura de cinta

La armadura de cinta es preferible para la protección contra herramientas puntiagudas, piedras de aristas vivas, etc. Constituye además un apantallamiento magnético que protege los circuitos, lo que dista mucho de ser el caso de la armadura de hilos enrollados en torno al cable a causa de los entrehierros, que reducen considerablemente el acoplamiento magnético entre la cubierta armada y los conductores del cable.

5 Armadura de hilos

La armadura de hilos da al cable una resistencia a la tracción mucho mayor. Por consiguiente, es particularmente útil cuando la longitud de tiro del cable es muy grande o cuando las condiciones de utilización (hundimiento del suelo en la regiones mineras, cables a través de extensiones acuáticas o pantanosas, cables tendidos en pozos que desembocan en puntos de altura muy inferior a la del terreno circundante) ejercen sobre el cable una tracción considerable.

6 Tipo general de armadura

En los cables con cubierta metálica de plomo o de aluminio, el tipo de armadura más corriente se compone de dos cintas de acero enrolladas en espiral entre capas de papel y de yute impregnadas, con protección exterior de hilos de yute u otro material similar. Este tipo de armadura asegura una buena protección en los cinco casos señalados en el § 3.

En los cables con cubierta de plástico, puede utilizarse una armadura ligera de cintas metálicas (acero, aluminio o cobre) colocadas entre dos vainas de plástico (polietileno o cloruro de polivinilo). Los cables así contruidos están protegidos en cierta medida contra los accidentes mencionados en los apartados a) y d) del § 3, y, sobre todo, contra los riesgos señalados en los apartados b) y c) de ese mismo punto.

7 Armadura para los cables importantes

Sin duda, como mejor se protegen los cables más importantes de una red de larga distancia es con una cubierta metálica estanca y con la armadura clásica antes descrita, pero el costo de esta protección es relativamente elevado.

Se puede reducir el precio de coste de los cables empleando una delgada cubierta de acero soldada, protegida contra la corrosión por productos bituminosos y por una vaina de plástico. Los cables están así protegidos, aunque en menor grado, contra los riesgos señalados en los apartados a), b), c) y d) del § 3; se puede lograr cierta protección contra la inducción insertando elementos conductores, de cobre o de aluminio, bajo la cubierta de acero.

8 Cables tendidos en canalizaciones

La experiencia muestra que los cables de pares simétricos, de pares coaxiales o mixtos, desprovistos totalmente de armadura, pueden tenderse en canalizaciones de hasta 300 metros, a condición de repartir el esfuerzo de tracción entre los conductores y los elementos de la cubierta. La armadura de hilos de acero utilizada en otro tiempo puede así suprimirse, salvo en ciertos casos particulares (enlaces importantes, grandes longitudes de cable, por ejemplo, paso bajo ríos).

9 Consideraciones relativas a la corrosión – Cables con cubierta metálica

La armadura, tanto de cinta como de hilos, desempeña un papel importante en la protección contra la corrosión, sobre todo porque permite mantener en buen estado las vainas de materias impregnadas que recubre, evitando así a la cubierta metálica, por ejemplo, los efectos de una aireación diferencial.

10 Roedores e insectos

Los daños que causan los roedores son bastante importantes en ciertas partes del mundo. Las armaduras de cinta o de hilos constituyen una protección eficaz, pero onerosa. El CCITT estudia el empleo posible de un cable menos costoso con capas protectoras superpuestas (por ejemplo, polietileno, aluminio delgado, acero revestido y polietileno). Los insectos pueden penetrar en la capa exterior de polietileno pero encuentran entonces la capa de metal. Suponiendo que no la puedan perforar, existe un riesgo de corrosión que, sin embargo, no es grave si la capa metálica está revestida de polietileno por ambas caras. Además de la protección obtenida contra roedores e insectos, este tipo de construcción proporciona una resistencia suplementaria a la tracción a un precio relativamente módico.

11 Regiones tropicales

En las regiones tropicales se prestará particular atención a los § 6 y 7 y al peligro que representan los microorganismos.

En general, sólo podrá prescindirse de armadura:

- cuando el cable se tienda en canalizaciones;
- cuando no sea necesario ningún apantallamiento magnético, o cuando se obtenga éste con una capa de un metal cualquiera incluida al efecto en el revestimiento del cable;
- cuando no exista riesgo de corrosión o cuando la protección contra la corrosión esté asegurada por una capa protectora cualquiera incluida al efecto en el revestimiento del cable;
- en el caso de cables enterrados directamente, cuando el suelo sea homogéneo y no contenga ni sílex ni rocas susceptibles de dañar el cable, y siempre que no sean de temer ataques de roedores o de insectos.

Sin embargo, incluso en estos casos, puede ocurrir que condiciones locales especiales justifiquen el empleo de una armadura en los cables.

CUBIERTAS DE ALUMINIO PARA CABLES

1 Principios generales

El progreso en la técnica de la utilización del aluminio ha hecho posible el uso cada vez más generalizado de este metal para la fabricación de cubiertas de cable, lo que permite aprovechar todas las características favorables de este tipo de cubiertas.

Entre ellas, destacan las siguientes:

- baja densidad (aproximadamente 1/4 de la del plomo);
- resistencia mecánica mucho mayor que la del plomo, lo que permite fabricar cubiertas más ligeras, no sólo porque el aluminio pesa menos que el plomo sino también porque su espesor puede ser menor;
- gran resistencia a las vibraciones;
- conductividad elevada, lo que permite obtener un mejor factor de apantallamiento y una protección más eficaz contra las sobretensiones de origen atmosférico.

Se ha comprobado, por otra parte, que la mayor rigidez de las cubiertas de aluminio no plantea grandes dificultades adicionales durante el tendido.

Sin embargo, como el aluminio es más vulnerable que el plomo en lo que respecta a la corrosión electroquímica y electrolítica, las cubiertas de cable de aluminio y los empalmes entre largos de fábrica individuales (manguitos de empalme y secciones adyacentes del cable) requieren un revestimiento protector de plástico de Clase II [1].

Como se desprende de lo que precede, las cubiertas de aluminio ofrecen múltiples ventajas en comparación con las de plomo. Conviene, pues, generalizar la utilización del aluminio para las cubiertas de los cables por lo menos cuando el costo previsto del cable no sea superior al de un cable con cubierta de plomo y también cuando las cubiertas de aluminio satisfagan mejor las exigencias técnicas. La utilización de cables con cubiertas de aluminio ofrece especial interés en el caso de cables interurbanos.

2 Tipos de cubiertas de aluminio

2.1 Cubierta extruida

Esta cubierta se obtiene por extrusión directa del aluminio alrededor del núcleo del cable. La prensa puede ser o no del tipo *continuo*. Si no es del tipo continuo, habrá que tomar precauciones a fin de que las zonas en que se reanuda el proceso no den lugar a inconvenientes.

2.2 Cubierta soldada

Se obtiene esta cubierta por aplicación, alrededor del núcleo del cable, de una cinta de aluminio soldada longitudinalmente.

2.3 Elección de la forma y espesor de las cubiertas

Tras la extrusión o soldadura de la cubierta se puede o bien estampar esta última en el núcleo del cable (cubierta lisa) o bien ondularla por diversos procedimientos (cubierta ondulada).

Para determinar si la cubierta debe ser ondulada, hay que tener en cuenta el diámetro del núcleo del cable, el radio de curvatura mínimo durante el tendido y las características mecánicas del aluminio utilizado [2]. Como orientación, cabe señalar que, en el caso de los cables con núcleo de más de 40 mm de diámetro, la cubierta debe ser ondulada.

Según se indica en el § 1, el espesor de las cubiertas de aluminio es, en general, menor que el de las cubiertas de plomo.

Se sugieren los espesores indicados en el cuadro 1/L.4, aunque los valores dados en el mismo sean válidos tanto para las cubiertas extruidas como para las soldadas; ahora bien, en las primeras no pueden ser inferiores a 0,9 mm y en las segundas no pueden ser superiores a 1,4 mm, espesor máximo con el que se puede efectuar la soldadura por los procedimientos conocidos.

No queda excluida la utilización de espesores inferiores a los indicados en el cuadro 1/L.4 y, por el contrario, en el caso de los cables coaxiales sin armaduras, puede que haya que aumentar el espesor de las cubiertas con el fin de mejorar la protección mecánica. El aumento en el caso del aluminio es del orden de 0,3 mm.

En casos especiales, cabe naturalmente apartarse de los valores dados en el cuadro 1/L.4 (por ejemplo, si se exigen factores de apantallamiento extremadamente altos).

CUADRO 1/L.4
Espesores propuestos

Diámetro del núcleo (mm)		Espesor (mm)	
Mínimo	Máximo	Cubierta lisa	Cubierta ondulada a)
—	10	0,7 a 1,0	0,5 a 0,9
10	15	0,7 a 1,0	0,6 a 0,9
15	20	0,9 a 1,0	0,7 a 0,9
20	25	1,1	0,8 a 0,9
25	30	1,1 a 1,2	0,9
30	35	1,1 a 1,3	0,9 a 1,0
35	40	1,1 a 1,4	1,1
40	45	1,5	1,1 a 1,2
45	50	1,6	1,1 a 1,2
50	60		1,1 a 1,3
60	70		1,1 a 1,4
70	80		1,3 a 1,5

a) Si se desea obtener con una cubierta ondulada aproximadamente el mismo factor apantallamiento que con una cubierta lisa, ha de utilizarse el mismo espesor que si la cubierta fuera lisa.

3 Revestimiento protector

Como ya se ha dicho, por ser el aluminio más sensible a la corrosión que el plomo, cuando se utiliza bajo tierra, debe preverse un revestimiento protector impermeable (Clase II) de conformidad con lo especificado en [1] para proteger debidamente la cubierta del cable y las secciones de empalme de los largos de fábrica individuales (manguitos de empalme y secciones adyacentes del cable).

Cabe emplear, actualmente, dos tipos de materias plásticas para los revestimientos protectores:

- a) cloruro de polivinilo (PVC);
- b) polietileno.

El polietileno es preferible porque sus características generales y su baja permeabilidad al vapor de agua aseguran una mejor protección de las cubiertas de aluminio.

Con el fin de evitar que la humedad que haya penetrado accidentalmente bajo el revestimiento protector (por ejemplo, a causa de un defecto de tal revestimiento) se extienda a lo largo de la superficie de la cubierta ampliando las zonas de corrosión, es indispensable aplicar una capa impermeable constituida por una cinta adhesiva o un compuesto adecuado.

La capa impermeable debe adherirse bien al aluminio, sobre todo en el caso de revestimientos de cloruro de polivinilo, ya que esta materia, a diferencia del polietileno, no se adhiere a la cubierta después de la extrusión.

En el caso de las cubiertas onduladas, el compuesto bituminoso debe rellenar suficientemente las ondulaciones, de modo que haya un contacto adecuado con el revestimiento exterior.

Es conveniente realizar pruebas especiales con el fin de evaluar la eficacia de la capa impermeable. Una de las pruebas más generalizadas consiste en someter una muestra de la cubierta de aluminio, despojada de una parte del revestimiento protector, a un ataque electrolítico mediante una fuente exterior de fuerza electromotriz. Después de cierto tiempo, hay que comprobar si la corrosión se limita al lugar desprovisto del revestimiento protector. La eficacia del revestimiento protector puede evaluarse mediante una prueba por la que se determina el grado de adherencia del compuesto bituminoso a la cubierta de aluminio y al revestimiento protector de plástico.

A fin de asegurar la eficacia permanente de los revestimientos protectores cuando se tienden los cables en zonas expuestas al rayo (desde el punto de vista, en particular, de evitar las perforaciones ocasionadas por el rayo), se tendrán en consideración las indicaciones que figuran en [3].

4 Empalme de cubiertas de aluminio

El empalme de las cubiertas de aluminio presenta muchas más dificultades que el de las cubiertas de plomo. Sin embargo, el perfeccionamiento de la técnica ha permitido reducir al mínimo tales dificultades.

Hay varios métodos para empalmar las cubiertas de aluminio:

- con manguitos de plomo;
- con arandelas de plomo o conos que se emploman según un procedimiento normal o se pegan a la cubierta de aluminio con una cola especial para poder soldar seguidamente el manguito de plomo;
- con manguitos de aluminio unidos a la cubierta de aluminio por soldadura a presión (soldadura por explosión, presión o en frío);
- otros métodos, incluido el empleo de cintas adhesivas y de pastas epóxicas.

Los métodos utilizados para el empalme de cubiertas de aluminio deben satisfacer las condiciones recomendadas en [4].

Cuando el cable con cubierta de aluminio esté sujeto a variaciones importantes de temperatura, las tensiones debidas a la contracción del cable no deberán ser soportadas por los empalmes, pues, pueden provocar su rotura, en particular cuando la cubierta es lisa.

5 Protección catódica

Sólo se dispone de algunos resultados experimentales aislados sobre la protección catódica de las cubiertas de aluminio.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Recomendaciones relativas a la construcción, instalación y protección de los cables de telecomunicación en las redes públicas*, § 6.3, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, revisión 1974 y modificaciones y adiciones 1977.
- [2] *Ibid.*, § 5.4.4.
- [3] Manual del CCITT *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación*, UIT, Ginebra, 1974, 1978.
- [4] Manual del CCITT *Empalme de cables con cubierta de plástico*, UIT, Ginebra, 1978.

Recomendación L.5 (Ginebra, 1972)

CUBIERTAS DE CABLE FABRICADAS CON METALES DISTINTOS DEL PLOMO Y DEL ALUMINIO

1 Tipos de cable con cubierta metálica

1.1 La cubierta metálica más generalizada para sustituir a las de plomo o aluminio es la de acero ondulado. Esta cubierta consiste en una larga cinta de acero en forma de tubo alrededor del núcleo del cable, soldada por un procedimiento apropiado (arco en atmósfera de gas inerte, corriente eléctrica de baja frecuencia, o de alta frecuencia) a lo largo de la costura longitudinal y ondulada luego. La protección exterior de la cubierta de acero está formada por un compuesto viscoso especial, anticorrosivo, que recubre una o más cintas de plástico, aplicado de modo que cubra enteramente los valles de las ondulaciones. Se extruye luego un revestimiento plástico exterior por encima del acero protegido por el compuesto, para formar un revestimiento exterior liso.

1.2 Para proteger al cable descrito en el § 1.1 contra las corrientes inducidas, pueden emplearse cintas de aluminio o de cobre colocadas longitudinal o helicoidalmente debajo de la cubierta de acero ondulado. Puede también emplearse una cubierta de cobre ondulado en lugar de la cubierta de acero ondulado.

2 Fabricación

2.1 La cinta metálica adopta la forma de un largo tubo alrededor del núcleo del cable; se suelda a lo largo de la costura longitudinal y luego se ondula.

2.2 El acero no protegido es particularmente sensible a la acción corrosiva y la protección consiste normalmente en una capa de un compuesto en el que pueden incorporarse cintas de plástico, que cubre las ondulaciones. Se extruye luego una cubierta exterior de polietileno o de un revestimiento similar de Clase II por encima del compuesto [1].

2.3 Por regla general, no es necesario dotar el cable de una armadura, pero puede hacerse en casos especiales.

3 Usos

Las cubiertas de acero o de cobre ondulado pueden emplearse para toda clase de cables de telecomunicación. El empleo de estos cables se basa en las consideraciones siguientes:

- a) tomando en consideración todos los factores (por ejemplo, coste del tendido, canalizaciones o coste del cable), y pese a que el diámetro total del cable es mayor que en el caso de los cables con cubierta de plástico, plomo o aluminio no ondulado, los cables de telecomunicación con cubierta de acero pueden ser más económicos que los de cubierta de plomo;
- b) las cubiertas de acero son insensibles a las vibraciones causadas por el tráfico rodado en las carreteras o ferrocarriles;
- c) las cubiertas de metal ondulado tienen una flexibilidad adecuada;
- d) las cubiertas de metal ondulado con un revestimiento exterior liso son de fácil manejo durante su instalación;
- e) el mismo tipo de cable puede tenderse directamente bajo tierra o en canalizaciones;
- f) este tipo de cubiertas resiste esfuerzos de compresión moderados y asegura una protección contra la mayoría de los daños causados por piedras o excavadoras;
- g) si sufre daños el revestimiento de plástico de los cables con cubierta de acero, es de prever que se produzca rápidamente la corrosión.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Recomendaciones relativas a la construcción, instalación y protección de los cables de telecomunicación en las redes públicas*, § 6.3, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, revisión 1974, modificaciones y adiciones 1977.

Recomendación L.6 (Ginebra, 1972)

MÉTODOS PARA MANTENER EN LOS CABLES UNA PRESIÓN GASEOSA

El CCITT llama la atención sobre las mejoras que se pueden hacer en servicio protegiendo los cables de telecomunicación contra la penetración de la humedad cuando la cubierta está perforada o deteriorada. Para asegurar la protección de los circuitos contra las interrupciones hasta el momento en que se hacen las reparaciones, el CCITT recomienda que las Administraciones admitan que sería ventajoso atenerse a las instrucciones contenidas en el manual *Protección de los cables de telecomunicación mediante gas a presión*, UIT, Ginebra, 1970.

Recomendación L.7 (Ginebra, 1976)

APLICACIÓN DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA COMÚN

1 Consideraciones generales

Se entiende por protección catódica común de diferentes estructuras metálicas subterráneas, la protección de esas estructuras contra la corrosión por medio de dispositivos de protección comunes.

Un sistema de protección común para varias estructuras metálicas subterráneas se compone de conexiones eléctricas entre las estructuras y los dispositivos de protección comunes que satisfacen los requisitos de protección catódica y drenaje eléctrico.

Las técnicas comunes de protección mejoran la fiabilidad de las estructuras enterradas y la eficacia de los dispositivos de protección catódica, reduciendo al mismo tiempo los costos totales de inversión y mantenimiento del sistema de protección.

2 Condiciones para la aplicación de la protección catódica común

Puede aplicarse la protección catódica común a instalaciones metálicas subterráneas en los casos en que diferentes estructuras estén próximas unas de otras o se crucen entre sí, y en que sea necesario evitar los efectos perjudiciales de la estructura protegida en las estructuras próximas no protegidas, a condición de que ello sea económico y de que no existan otros medios mejores para evitar dicha influencia. Existe una influencia perjudicial de la polarización catódica de la instalación protegida en las estructuras metálicas próximas en los siguientes casos:

- a) los potenciales medidos son inferiores o superiores a los valores recomendados;
- b) aumenta el peligro de corrosión de las estructuras metálicas subterráneas próximas.

Puede aplicarse razonablemente la protección común de cables de telecomunicación y otras estructuras en los siguientes casos:

- a) las estructuras subterráneas próximas se hallan a una distancia generalmente no superior a 50 metros;
- b) las instalaciones enterradas se cruzan entre sí;
- c) las lechos de tierra o ánodos reactivos de un sistema de protección catódica tienen una influencia perjudicial en las instalaciones próximas no protegidas.

Puede pensarse en adoptar una protección común de los cables de telecomunicación y de los de distribución de energía, conforme a [1], cuando el potencial con respecto a tierra del cable de telecomunicación no excede la tensión de seguridad requerida por disposiciones locales o nacionales en caso de avería de una toma de tierra o de cortocircuito en el sistema de suministro de energía.

La protección catódica común ha de asegurar, en las instalaciones protegidas, potenciales comprendidos dentro de los valores indicados en [1].

En caso de utilizarse una protección común, ha de ser posible emplear dispositivos que controlen automáticamente la intensidad de salida del equipo de protección catódica.

3 Condiciones que han de satisfacer las conexiones eléctricas

Se utilizan conexiones especiales para establecer el contacto eléctrico entre instalaciones con protección común. Tales conexiones pueden ser directas, o establecerse a través de una resistencia (para limitar la corriente), o ser polarizadas.

Pueden utilizarse conexiones directas en los siguientes casos:

- a) cuando estructuras metálicas subterráneas del mismo tipo se cruzan o se aproximan una a otra;
- b) cuando el establecimiento de conexiones entre estructuras de tipos diferentes no reduce la eficacia del sistema primario de protección catódica.

Se utilizarán conexiones con resistencia que controlan la corriente aplicada a los diferentes tipos de instalaciones, en caso de que tengan que controlarse los potenciales de esas estructuras.

Se emplearán conexiones polarizadas:

- a) para sistemas comunes de drenaje y protección catódica;
- b) para evitar el paso de corriente desde un conducto metálico a una instalación de telecomunicaciones;
- c) para asegurar una protección contra las averías del equipo de protección catódica.

No se establecerán conexiones entre estructuras enterradas, y cables y equipos de suministro de energía, a menos que pueda hacerse con seguridad en caso de avería en el sistema de suministro de energía, y ajustándose a las reglas de seguridad locales y nacionales.

4 Comprobación del funcionamiento de los dispositivos comunes de protección catódica

El funcionamiento de los dispositivos comunes de protección catódica se comprobará mediante:

- a) un examen periódico de los dispositivos y equipos de protección;
- b) mediciones periódicas de la interacción de las diferencias de potencial con el equipo de protección conectado y desconectado, en todas las instalaciones incluidas en el sistema común de protección, en aplicación de los procedimientos locales adoptados.

Cuando se efectúen pruebas o modificaciones en el sistema común de protección catódica, se recomienda la presencia o el acuerdo de los representantes de los organismos de explotación cuyas estructuras enterradas estén incluidas en el sistema común de protección.

Referencias

- [1] Manual del CCITT *Recomendaciones relativas a la construcción, instalación y protección de los cables de telecomunicación en las redes públicas*, edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, revisión 1974 y modificaciones y adiciones 1977.

Recomendación L.8 (Ginebra, 1976)

CORROSIÓN PROVOCADA POR CORRIENTE ALTERNA

De los experimentos hechos en laboratorios y de las observaciones recogidas al controlar ciertas instalaciones industriales, se desprende que las corrientes alternas parásitas pueden provocar corrosión. Sin embargo, otros experimentos sobre el plomo para comparar los efectos de las corrientes continua y alterna por pérdida de peso muestran que la corriente alterna tiene una acción corrosiva muy ligera en comparación con la producida por la corriente continua. La corrosión debida a la corriente alterna se manifiesta en forma de picaduras.

Debe hacerse una observación a este respecto:

- pese a su rareza, la corrosión se produce con mayor facilidad cuando la frecuencia de la corriente es inferior a la frecuencia normal de la corriente industrial (50 ó 60 Hz);
- puede aparecer la rectificación por la naturaleza de los suelos o por la presencia de óxidos o contaminadores diversos en la superficie de los metales.

No es posible conocer prácticamente las densidades de corriente ni las tensiones con las que se produce la corrosión. El carácter, a menudo muy localizado de los defectos, las reacciones anódicas y catódicas sobre una misma superficie metálica y las variaciones de las características químicas del medio impiden que pueda precisarse, por el momento, la noción o la definición de una densidad de corriente crítica.

Puede afirmarse que una corriente alterna de reducido potencial no constituye, en general, un peligro para el acero ni el plomo, pero puede provocar en ciertos casos una corrosión en el aluminio.

