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.

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

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.

© International Telecommunication Union

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

LIBRO ROJO

TOMO IX

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

RECOMENDACIONES DE LA SERIE L

VIII ASAMBLEA PLENARIA
MÁLAGA-TORREMOLINOS, 8-19 DE OCTUBRE DE 1984

Ginebra 1985

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

LIBRO ROJO

TOMO IX

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

RECOMENDACIONES DE LA SERIE K

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

RECOMENDACIONES DE LA SERIE L

VIII ASAMBLEA PLENARIA
MÁLAGA-TORREMOLINOS, 8-19 DE OCTUBRE DE 1984

Ginebra 1985

ISBN 92-61-02373-8

BIBLIOTHÈQUE DE L' UIT GENÈVE

© U.I.T.

CONTENIDO DEL LIBRO DEL CCITT EN VIGOR DESPUÉS DE LA OCTAVA ASAMBLEA PLENARIA (1984)

LIBRO ROJO

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 – *(Cinco fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO II.1 – Principios generales de tarificación – Tasación y contabilidad en los servicios internacionales de telecomunicaciones. Recomendaciones de la serie D (Comisión de Estudio III).

FASCÍCULO II.2 – Servicio telefónico internacional – Explotación. Recomendaciones E.100 a E.323 (Comisión de Estudio II).

FASCÍCULO II.3 – Servicio telefónico internacional – Gestión de la red, ingeniería de tráfico. Recomendaciones E.401 a E.600 (Comisión de Estudio II).

FASCÍCULO II.4 – Servicios de telegrafía – Explotación y calidad de servicio. Recomendaciones F.1 a F.150 (Comisión de Estudio I).

FASCÍCULO II.5 – Servicios de telemática – Explotación y calidad de servicio. Recomendaciones F.160 a F.350 (Comisión de Estudio I).

Tomo III – *(Cinco fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO III.1 – Características generales de las conexiones y circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones G.101 a G.181 (Comisiones de Estudio XV, XVI y CMBD).

FASCÍCULO III.2 – Sistemas internacionales analógicos de portadoras. Características de los medios de transmisión. Recomendaciones G.211 a G.652 (Comisión de Estudio XV y CMBD).

FASCÍCULO III.3 – Redes digitales – Sistemas de transmisión y equipos de multiplexación. Recomendaciones G.700 a G.956 (Comisiones de Estudio XV y 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 de Estudio XV).

FASCÍCULO III.5 – Red digital de servicios integrados (RDSI). Recomendaciones de la serie I (Comisión de Estudio XVIII).

Tomo IV – *(Cuatro fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO IV.1 – Mantenimiento: consideraciones generales, sistemas internacionales de transmisión, circuitos telefónicos internacionales. Recomendaciones M.10 a M.762 (Comisión de Estudio IV).

FASCÍCULO IV.2 – Mantenimiento de circuitos internacionales de telegrafía armónica y de facsímil y de circuitos internacionales arrendados. Recomendaciones M.800 a M.1375 (Comisión de Estudio IV).

FASCÍCULO IV.3 – Mantenimiento de circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión. Recomendaciones de la serie N (Comisión de Estudio IV).

FASCÍCULO IV.4 – Especificaciones de los aparatos de medida. Recomendaciones de la serie O (Comisión de Estudio IV).

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

Tomo VI – *(Trece fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO VI.1 – Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización telefónicas – Interfaz con el servicio móvil marítimo y el servicio móvil terrestre. Recomendaciones Q.1 a Q.118 *bis* (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.2 – Especificaciones de los sistemas de señalización N.^{os} 4 y 5. Recomendaciones Q.120 a Q.180 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.3 – Especificaciones del sistema de señalización N.º 6. Recomendaciones Q.251 a Q.300 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.4 – Especificaciones de los sistemas de señalización R1 y R2. Recomendaciones Q.310 a Q.490 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.5 – Centrales digitales de tránsito en redes digitales integradas y en redes mixtas analógico-digitales. Centrales digitales locales y combinadas. Recomendaciones Q.501 a Q.517 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.6 – Interfuncionamiento de los sistemas de señalización. Recomendaciones Q.601 a Q.685 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.7 – Especificaciones del sistema de señalización N.º 7. Recomendaciones Q.701 a Q.714 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.8 – Especificaciones del sistema de señalización N.º 7. Recomendaciones Q.721 a Q.795 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.9 – Sistema de señalización de acceso digital. Recomendaciones Q.920 a Q.931 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.10 – Lenguaje de especificación y descripción funcionales (LED). Recomendaciones Z.101 a Z.104 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.11 – Lenguaje de especificación y descripción funcionales (LED). Anexos a las Recomendaciones Z.101 a Z.104 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.12 – Lenguaje de alto nivel del CCITT (CHILL). Recomendación Z.200 (Comisión de Estudio XI).

FASCÍCULO VI.13 – Lenguaje hombre-máquina (LHM). Recomendaciones Z.301 a Z.341 (Comisión de Estudio XI).

Tomo VII – *(Tres fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO VII.1 – Transmisión telegráfica. Recomendaciones de la serie R (Comisión de Estudio IX). Equipos terminales para los servicios de telegrafía. Recomendaciones de la serie S (Comisión de Estudio IX).

FASCÍCULO VII.2 – Conmutación telegráfica. Recomendaciones de la serie U (Comisión de Estudio IX).

FASCÍCULO VII.3 – Equipos terminales y protocolos para los servicios de telemática. Recomendaciones de la serie T (Comisión de Estudio VIII).

Tomo VIII – *(Siete fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO VIII.1 – Comunicación de datos por la red telefónica. Recomendaciones de la serie V (Comisión de Estudio XVII).

FASCÍCULO VIII.2 – Redes de comunicación de datos: servicios y facilidades. Recomendaciones X.1 a X.15 (Comisión de Estudio VII).

FASCÍCULO VIII.3 – Redes de comunicación de datos: interfaces. Recomendaciones X.20 a X.32 (Comisión de Estudio VII).

FASCÍCULO VIII.4 – Redes de comunicación de datos: transmisión, señalización y conmutación, aspectos de redes, mantenimiento, disposiciones administrativas. Recomendaciones X.40 a X.181 (Comisión de Estudio VII).

FASCÍCULO VIII.5 – Redes de comunicación de datos: interconexión de sistemas abiertos (ISA), técnicas de descripción de sistemas. Recomendaciones X.200 a X.250 (Comisión de Estudio VII).

FASCÍCULO VIII.6 – Redes de comunicación de datos: interfuncionamiento entre redes, sistemas móviles de transmisión de datos. Recomendaciones X.300 a X.353 (Comisión de Estudio VII).

FASCÍCULO VIII.7 – Redes de comunicación de datos; sistemas de tratamiento de mensajes. Recomendaciones X.400 a X.430 (Comisión de Estudio VII).

Tomo IX – Protección contra las perturbaciones. Recomendaciones de la serie K (Comisión de Estudio V) – Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior. Recomendaciones de la serie L (Comisión de Estudio VI).

Tomo X – *(Dos fascículos, vendidos por separado.)*

FASCÍCULO X.1 – Términos y Definiciones.

FASCÍCULO X.2 – Índice del Libro Rojo.

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

ÍNDICE DEL TOMO IX DEL LIBRO ROJO

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	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	7
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	9
K.10	Desequilibrio con respecto a tierra de las instalaciones de telecomunicación	10
K.11	Principios de protección contra las sobretensiones y sobrecorrientes	16
K.12	Características de los descargadores de gas para la protección de las instalaciones de telecomunicaciones	24
K.13	Tensiones inducidas en los cables de conductores con aislamiento de plástico	36
K.14	Empleo de una pantalla metálica en cables de cubierta de plástico	37
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	43
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	46
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	68
K.18	Cálculo de las tensiones inducidas en líneas de telecomunicación por emisiones desde estaciones radioeléctricas y métodos para reducir las interferencias	75
K.19	Utilización conjunta de zanjas y galerías por cables de telecomunicación y cables de líneas de energía eléctrica	91
K.20	Inmunidad del equipo de conmutación de telecomunicaciones contra las sobretensiones y sobreintensidades	92

PARTE II – Recomendaciones de la serie L

Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior

Rec. N.º		Página
L.1	Protección contra la corrosión	103
L.2	Impregnación de los postes de madera	103
L.3	Armadura de los cables	103
L.4	Cubiertas de aluminio para cables	105
L.5	Cubiertas de cable fabricadas con metales distintos del plomo y del aluminio	108
L.6	Métodos para mantener en los cables una presión gaseosa	109
L.7	Aplicación de la protección catódica común	109
L.8	Corrosión provocada por corriente alterna	111

NOTAS PRELIMINARES

1 Las Cuestiones asignadas a cada Comisión de Estudio para el periodo de estudios 1985-1988 figuran en la contribución N.º 1 de dicha Comisión.

2 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, 1978 y 1982.)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES [1]

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).

---

[1] 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, 1982. 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, 1982.

[2] *Ibíd*, 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 aéreas de telecomunicación por hilo o por cable 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, 1982.

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, 1982.

Recomendación K.7 (Ginebra, 1964; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984)

PROTECCIÓN CONTRA LOS CHOQUES ACÚSTICOS

En ciertas circunstancias desfavorables pueden producirse en un aparato telefónico normalmente unido a una línea de hilo metálico, tensiones transitorias repentinas de amplitud instantánea excepcionalmente elevada, del orden de 1 kV, por ejemplo, como consecuencia de perturbaciones eletromagnéticas a las que la línea está expuesta.

Si estas tensiones aparecen en el curso de una comunicación telefónica pueden causar presiones acústicas tan fuertes, a través del auricular, que pueden dañar el oído humano y el sistema nervioso.

Estas crestas de tensión pueden producirse principalmente cuando los descargadores insertados entre los dos conductores de una línea telefónica no funcionan simultáneamente, lo que hace que el aparato telefónico sea atravesado por una corriente de compensación. Por esta razón, el CCITT recomienda el empleo de dispositivos de proctección 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 el capítulo I, § 6 de las *Directrices,* página 16).

Tales dispositivos constan, por ejemplo, de dos rectificadores conectados en paralelo y en oposición de fase o de otros elementos semiconductores conectados directamente en paralelo al receptor telefónico.

En los aparatos telefónicos de diseño más reciente, la supresión de los choques de tensión de corta duración que pueden producirse en el receptor se puede conseguir con unas características idóneas de los circuitos eléctricos comprendidos entre el acceso a la línea de donde provienen las tensiones peligrosas y el propio auricular.

Se recomienda asimismo que las disposiciones previstas limiten la molestia auditiva que pueden crear señales eléctricas anormales aplicadas a los sistemas de abonado como consecuencia de falsas maniobras o de funcionamientos imprevistos de los equipos a que están conectadas.

Las disposiciones adoptadas para asegurar la protección contra los choques acústicos deben:

- ser compatibles con las exigencias técnicas que deba satisfacer el equipo;
- permitir un fácil control de su funcionamiento;
- no disminuir sensiblemente la calidad de transmisión telefónica.

Para ello se recomienda particularmente:

1) que en el caso de dispositivos específicos sus dimensiones sean pequeñas, de modo que su reducido volumen permita colocarlas dentro del receptor telefónico del abonado o de la operadora;
2) que las características eléctricas no varíen en las condiciones de temperatura y humedad que se puedan presentar en el lugar de utilización;
3) que la eficacia se compruebe conforme a las indicaciones de la Recomendación P.36 del CCITT.

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

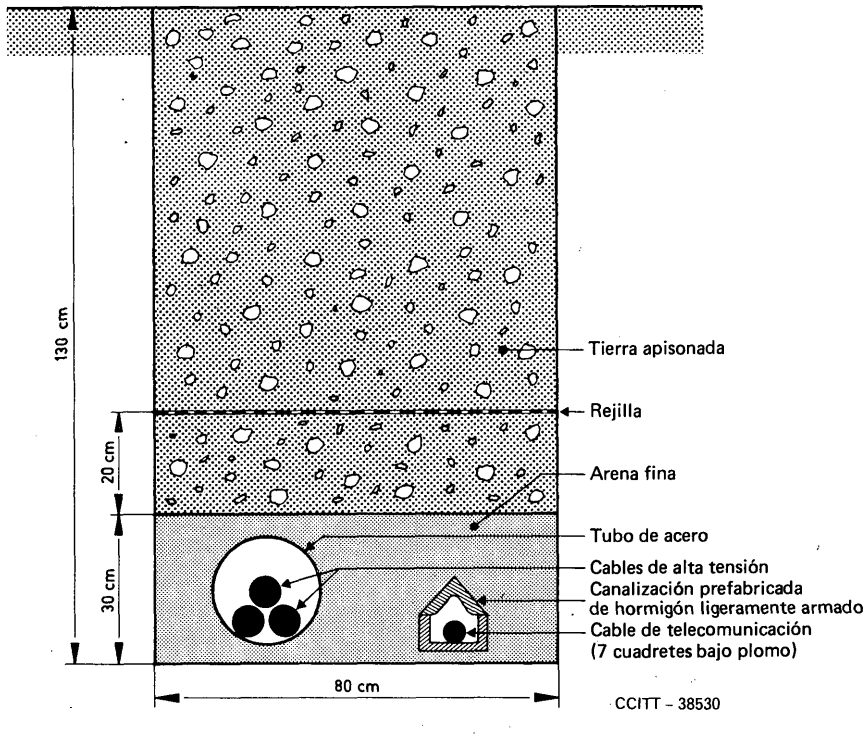


FIGURA A-1/K.8

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

Recomendación K.9 (Mar del Plata, 1968)

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 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.

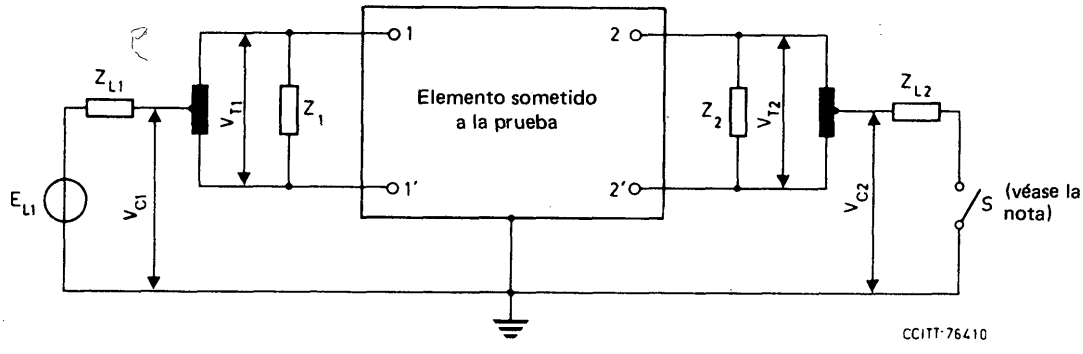
Recomendación K.10 (Mar del Plata, 1968; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984)

DESEQUILIBRIO CON RESPECTO A TIERRA DE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIÓN

1 Desequilibrio con respecto a tierra de los equipos de telecomunicación

A fin de mantener un equilibrio adecuado de los equipos de telecomunicación y de las líneas conectadas con ellos, se recomienda que el valor mínimo admisible del desequilibrio de las instalaciones de telecomunicación [atenuación de conversión longitudinal (ACL)] sea de 40 dB (de 300 a 600 Hz) y de 46 dB (de 600 a 3400 Hz). Este es un valor mínimo general y no excluye la posibilidad de indicar valores mínimos superiores para necesidades particulares en otras Recomendaciones del CCITT[1].

Debe utilizarse el montaje de prueba de la figura 1/K.10 para medir el desequilibrio del equipo de telecomunicaciones.



Nota – Las medidas se hacen normalmente y los límites se especifican con el conmutador S cerrado. Sin embargo, para determinados equipos, por ejemplo los descritos en la Recomendación Q.45, tal vez sea necesario especificar límites de atenuación de transferencia de conversión longitudinal (ATCL) con el conmutador S cerrado y con el conmutador S abierto.

FIGURA 1/K.10

Montaje de prueba

La nomenclatura, definición y medida de desequilibrios se basan en las Recomendaciones G.117 y O.121.

Debe cumplirse que $Z_{L1} = Z_1/4$, $Z_{L2} = Z_2/4$ en la gama de audiofrecuencias (véanse la Recomendación Q.45 y el § 3.2 de la Recomendación O.121).

Se especifican los términos siguientes:

– atenuación de conversión longitudinal (ACL) (aplicable a dipolos y cuadripolos) =

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T1}} \right| \text{ dB}$$

– atenuación de transferencia de conversión longitudinal (ATCL) (aplicable únicamente a cuadripolos) =

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T2}} \right| \text{ dB}$$

2 Desequilibrio con respecto a tierra de las líneas de telecomunicación

Si se somete a prueba una línea de gran longitud, deben utilizarse esencialmente el mismo circuito de prueba y la misma nomenclatura que en la figura 1/K.10. Sin embargo, la inducción y los desequilibrios longitudinales se distribuyen a lo largo de la línea. Por consiguiente, la atenuación de conversión longitudinal (ACL) y la atenuación de transferencia de conversión longitudinal (ATCL) no sólo vienen determinadas por los

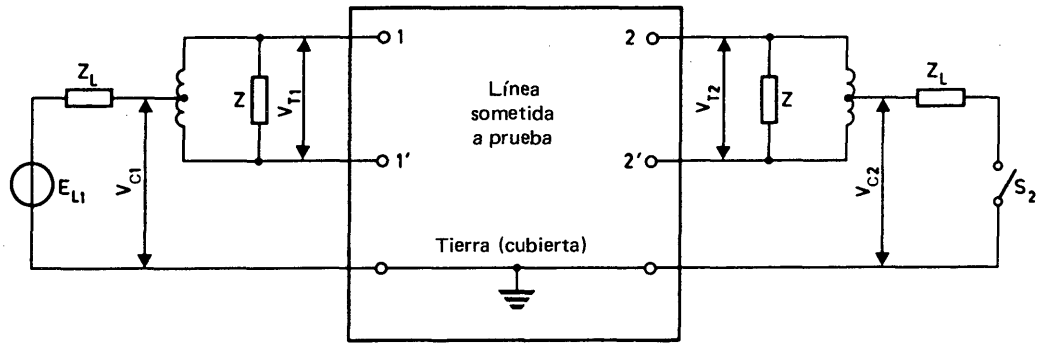
[1] Véanse en particular la Recomendación Q.45 y la continuación del estudio de la Cuestión 13/V [1].

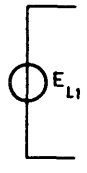
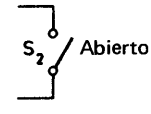
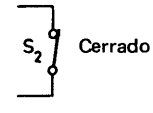
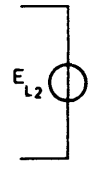
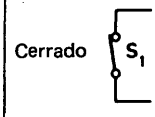
parámetros propios, sino también por la distribución de las tensiones hilo/tierra (cubierta). Para obtener el efecto del desequilibrio en los casos prácticos, se recomienda que se efectúen medidas con la tensión hilo/cubierta de polaridad constante (es decir, alimentación en el extremo, véase el cuadro 1/K.10), y con la tensión hilo/cubierta con cambio de polaridad en el punto intermedio (es decir, alimentación en el centro, véase el cuadro 2/K.10).

En el cuadro 3/K.10 se enumeran las conclusiones extraídas de estas mediciones.

CUADRO 1/K.10

Resultados de pruebas de desequilibrio en una línea cuando el trayecto longitudinal se alimenta en una de las terminaciones



Acceso 1		Acceso 2	
Terminación	Términos utilizados	Términos utilizados	Terminación
	Atenuación de conversión longitudinal $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{o}_{T1}} \right\|$	Atenuación de transferencia de conversión longitudinal $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{o}_{T2}} \right\|$	
	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{c}_{T1}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L1}}{V^{c}_{T2}} \right\|$	
	Atenuación de transferencia de conversión longitudinal $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{o}_{T1}} \right\|$	Atenuación de conversión longitudinal $20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{c}_{T2}} \right\|$	
	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{c}_{T1}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_{L2}}{V^{o}_{T2}} \right\|$	

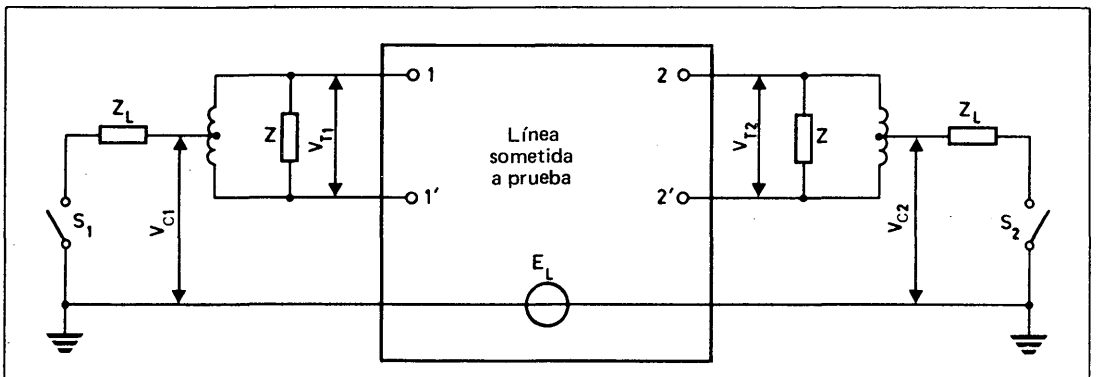
CCITT-76420

Nota 1 – Los índices «o» y «c» indican los estados abierto y cerrado del conmutador S, respectivamente.

Nota 2 – Los valores de V_{C1} y V_{C2} dan cierta indicación para la distribución de la tensión hilo/tierra (cubierta).

CUADRO 2/K.10

Resultados de pruebas de desequilibrio en una línea cuando el trayecto longitudinal se alimenta en una sección intermedia



	Acceso 1		Acceso 2	
Prueba N.°	Terminación	Atenuación de conversión longitudinal	Atenuación de conversión longitudinal	Terminación
1	Abierto S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{oo}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{oo}} \right\|$	S_2 Abierto
2	Cerrado S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{cc}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{cc}} \right\|$	S_2 Cerrado
3	Abierto S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{oc}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{oc}} \right\|$	S_2 Cerrado
4	Cerrado S_1	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T1}^{co}} \right\|$	$20 \log_{10} \left\| \frac{E_L}{V_{T2}^{co}} \right\|$	S_2 Abierto

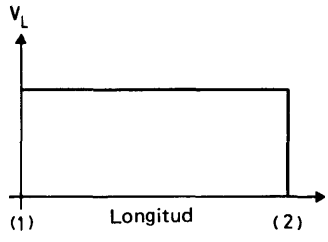
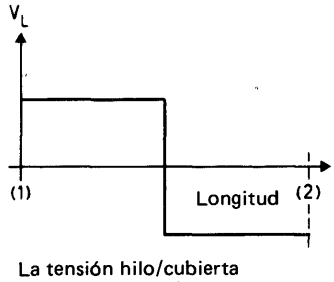
CCITT-76430

Nota 1 – Los índices «o» y «c» indican los estados abierto y cerrado del conmutador S, respectivamente.

Nota 2 – Los valores de V_{C1} y V_{C2} dan cierta indicación para la distribución de la tensión hilo/tierra (cubierta).

CUADRO 3/K.10

Procedimientos de medida para la determinación del desequilibrio de las líneas con respecto a tierra

Condiciones de la medida	Características examinadas
f.e.m. aplicada a los terminales (véase el cuadro 1/K.10)  Tensión hilo/cubierta de la misma polaridad	Grado de desequilibrio propio de una línea – tensión transversal máxima normalmente medida en una línea – distribución del desequilibrio a lo largo de una línea (intercambiando el transmisor y el receptor) – determinación de las secciones de línea con desequilibrio anormalmente elevado
f.e.m. aplicada en el punto medio de la línea (véase el cuadro 2/K.10)  La tensión hilo/cubierta cambia de polaridad en el punto medio	Influencia de la distribución de la tensión línea/cubierta a lo largo de una línea – tensiones transversales más conformes con las situaciones prácticas – efectos de compensación debidos al cambio de polaridad de la tensión línea/cubierta – indicaciones para la polaridad de desequilibrio por comparación con los resultados de otras distribuciones de tensión línea/cubierta

CCITT-76440

Nota – Si el trayecto logitudinal se cierra por conmutadores, se simula el efecto de un equipo terminal conectado a una línea de baja impedancia con respecto a tierra.

ANEXO A

(a la Recomendación K.10)

Ejemplo de cálculo de las tensiones transversales de una línea de telecomunicación

A.1 *Consideraciones generales*

La contribución mencionada en la referencia [2] contiene muchos valores calculados de la relación entre la tensión longitudinal y su conversión en la tensión transversal. Este anexo es un extracto de dicha contribución. Ofrece información básica sobre la aplicación de las propuestas de medidas en las líneas, contenidas en la Recomendación K.10.

Los resultados más importantes se resumen en el cuadro A-1/K.10. Corresponden a un par simétrico compuesto por hilos de cobre con aislamiento de papel de 0,9 mm de diámetro y trenzado en cuadretes en estrella con una capacidad mutua equivalente de 34 nF/km. En el cálculo sólo se ha simulado el desequilibrio de capacidad.

A.2 *Tensiones hilo/cubierta*

La distribución de las tensiones hilo/cubierta (tierra) viene determinada fundamentalmente por (véase la columna 2 del cuadro A – 1/K.10, donde se supone, para mayor sencillez, que la fuente de tensión total en el trayecto longitudinal es de 100 V):

- la posición de la fuente longitudinal (véase la columna 1 del cuadro A-1/K.10), y
- la terminación del trayecto longitudinal (véase la columna 3 del cuadro A-1/K.10).

Sobre la base de los esquemas indicados en la columna 2 del cuadro A-1/K.10 merecen citarse las siguientes tendencias:

a) Cuando la f.e.m. se aplica a uno de los terminales del trayecto longitudinal, las tensiones hilo/cubierta tienden a ser uniformes y de la misma polaridad a lo largo de la línea. Cuando se cierra el conmutador S, las tensiones disminuyen (compárese la línea de trazo continuo con la de trazo interrumpido de la gráfica de la primera fila y segunda columna).

b) Cuando la f.e.m. se aplica en una sección intermedia de la línea, por ejemplo, concentrada en el centro o distribuida uniformemente, las tensiones hilo/tierra tienen la misma magnitud y polaridades opuestas en cada mitad de la línea (véanse las curvas de trazo interrumpido de las gráficas de la segunda y tercera filas). La simetría de la distribución se perturba sólo con cerrar un conmutador en los terminales (véanse las líneas de trazo continuo de las gráficas de la segunda y tercera filas). Las diferencias entre las distribuciones de tensión debidas a las posiciones de conmutador abierto/cerrado y cerrado/cerrado en las terminaciones tienden a disminuir al aumentar la longitud de la línea y la frecuencia.

A.3 *Atenuación de conversión longitudinal*

La atenuación de conversión longitudinal y la atenuación de transferencia de conversión longitudinal (definidas en los cuadros 1/K.10 y 2/K.10) vienen determinadas fundamentalmente por:

- la distribución de las tensiones hilo/cubierta (véase el § A.2) y;
- la magnitud y la distribución del desequilibrio de capacidad.

En relación con el segundo aspecto, se han estudiado tres casos, que se indican en el cuadro A-1/K.10 como desequilibrio unilateral, desequilibrio perfectamente igualado y desequilibrio igualado con desequilibrio adicional. El desequilibrio uniforme unilateral, con ΔC = 600 pF/km, tiende a simular el caso más desfavorable, que no se da en la práctica. La línea perfectamente igualada (con transposiciones cada 0,5 km) puede también no conseguirse nunca.

Las magnitudes de la atenuación de conversión longitudinal pueden explicarse si se considera el hecho de que se generan elevadas tensiones transversales como consecuencia del desequilibrio de capacidad, si la posición de un desequilibrio coincide con elevadas tensiones hilo/tierra. El desequilibrio de una sección posterior tiende a amplificar la tensión transversal si los sentidos del desequilibrio y de la polaridad de la tensión hilo/tierra son los mismos que en la sección anterior. Sin embargo, si se invierte uno de los dos, las tensiones transversales resultantes resultan menores.

En el caso de una línea bien igualada, la magnitud de la atenuación de conversión longitudinal es elevada y muy independiente de la colocación de la f.e.m. y de la posición de los conmutadores en los terminales (véase la columna 5 del cuadro A-1/K.10).

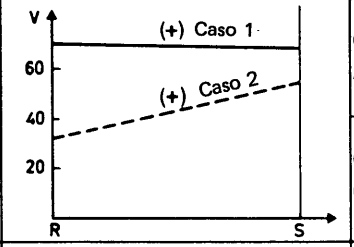
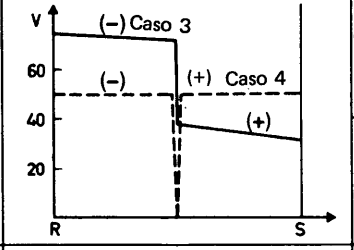
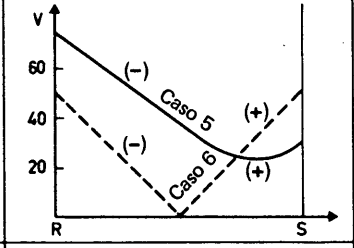
Si la atenuación de conversión aumenta considerablemente de magnitud al abrir el conmutador S, y depende del sentido de alimentación, cabe entonces esperar la existencia de desequilibrio local (véase la columna 6 del cuadro A-1/K.10).

Los valores inferiores de atenuación de conversión longitudinal (es decir de menos de 60 dB) podrían ser causados por el carácter unilateral del desequilibrio de capacidad (véase la columna 4 del cuadro A-1/K.10). Este es el caso en la Recomendación K.10, en la que el método de prueba especificado en el § 2 puede producir valores considerablemente superiores de la atenuación de conversión longitudinal que los valores en condiciones reales de inducción de energía. En este caso, pueden obtenerse valores más realistas por el método indicado en el cuadro 2/K.10.

CUADRO A-1/K.10

Tensiones hilo/tierra y atenuación de conversión longitudinal

(Longitud del cable: 10 km; frecuencia: 800 Hz; desequilibrio de capacidad: ΔC = 600 pF/km)

	Colocación de la f.e.m.	Distribución de la tensión hilo/tierra	Terminación del trayecto longitudinal (posición del conmutador) en el terminal		Atenuación de conversión longitudinal dB — Carácter de la distribución de ΔC: Unilateral		Perfectamente igualada		Igualada con desequilibrio adicional	
			R (1)	R (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)
1	En el terminal S (1)		Caso 1 Abierto S	150 Ω	49	49	101	101	77	84
			Caso 2 Cerrado 150 Ω S	150 Ω	53	53	112	102	83	90
2	En el centro		Caso 3 Abierto S_2	150 Ω S_1 Cerrado	57	58	96	100	78	84
			Caso 4 Cerrado 150 Ω S_2	150 Ω S_1 Cerrado	70	70	100	99	83	88
3	Uniforme		Caso 5 Abierto S_2	150 Ω S_1 Cerrado	57	58	95	102	78	84
			Caso 6 Cerrado 150 Ω S_2	150 Ω S_1 Cerrado	74	74	99	101	83	88
	Columna 1	Columna 2	Columna 3		Columna 4		Columna 5		Columna 6	

CCITT-70410

El principal desequilibrio en las líneas es el desequilibrio de capacidad. Sin embargo, en ocasiones es también importante el desequilibrio resistivo (R en serie). Como se ha señalado antes, cuando el conmutador S_2 está abierto, se acentúa el efecto del desequilibrio en derivación (en el caso de C de la línea). Si el conmutador S_2 (o los S_1 y S_2 indicados en el cuadro 2/K.10) está abierto y la atenuación de conversión permanece invariable (o incluso disminuye), ello indica que el desequilibrio en serie puede no ser la causa primaria del desequilibrio de la línea. En cambio, si hay un aumento, predominan los desequilibrios en serie. Debe señalarse que, aunque la razón de disponer de Z_L y S_2 es permitir al experimentador distinguir entre los desequilibrios en serie y en derivación de la línea, la eficacia de esta característica depende de la impedancia en derivación de la línea proporcionada por la capacidad a tierra resultante de la línea (por ejemplo, la longitud de la línea [3]).

Referencias

[1] Cuestión 13/V del CCITT *Desequilibrio de las instalaciones telefónicas.*

[2] Contribución COM V-38 *Estudio de la relación entre desequilibrio y tensiones transversales inducidas,* 1981-1984 (Administración húngara).

[3] IEEE Std 455 – 1976; *IEEE Standard Test Procedure for Measuring Longitudinal Balance of Telephone Equipment Operating in the Voice Band.* Publicado por IEEE, Inc., 30 de septiembre de 1976.

Recomendación K.11 (Ginebra, 1972; modificada en Málaga-Torremolinos, 1982)

PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES Y SOBRECORRIENTES

Introducción

En los actuales documentos del CCITT, se señala que el rayo y las averías de instalaciones eléctricas próximas son fuentes de peligrosas perturbaciones en las líneas de telecomunicación, que pueden causar daños que acarreen la interrupción del servicio y la necesidad de efectuar reparaciones, constituyendo incluso un peligro para el personal.

La presente Recomendación tiene por objeto sentar los principios que permitan limitar la frecuencia y gravedad de tales perturbaciones a niveles que tengan en cuenta la calidad de servicio, los costes de explotación y la seguridad del personal. Estos principios son aplicables a todas las partes de un sistema de telecomunicaciones. En las referencias y en las Recomendaciones K.5, K.6, K.9, K.12, K.15, K.16 y K.17 se incluyen más detalles sobre ciertos métodos de protección y ciertas partes del sistema. En [1] y [2] se da información sobre los fenómenos perturbadores y las técnicas de protección.

La presente Recomendación trata principalmente de la central local, la planta local de líneas de abonado y los equipos de abonado, pero sus aplicaciones pueden ser mucho más amplias.

Observación – Los fenómenos perturbadores, cuando se producen, son relativamente raros o de duración muy breve (generalmente del orden de una fracción de segundo), y en la elaboración de la presente Recomendación no se han tenido en cuenta métodos para evitar la interrupción del funcionamiento de los equipos durante una perturbación real. El CCITT prosigue el estudio de tales métodos.

1 Consideraciones generales

1.1 *Origen de las sobretensiones y sobrecorrientes peligrosas*

1.1.1 *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.

1.1.2 *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.

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

Los fallos (o faltas) 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 1000 ms (a veces incluso mayores) según el sistema de eliminación de fallo utilizado en la línea de transporte de energía.

1.1.4 *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 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.

1.1.5 *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.

1.2 *Métodos de protección*

1.2.1 Algunas de las medidas de protección para líneas que se describen en el § 2 reducen las sobretensiones y sobrecorrientes en su origen, disminuyendo con ello el riesgo de daños a todas las partes del sistema.

1.2.2 Otras medidas de protección que pueden aplicarse a determinadas partes del sistema, como las indicadas en los § 2, 3 y 4, se dividen en términos generales en dos grupos:

- utilización de dispositivos de protección que impiden que una cantidad demasiado alta de energía alcance las partes vulnerables, sea por desviación de esa energía (por ejemplo, descargadores de chispa), sea desconectando la línea (por ejemplo, fusibles);
- empleo de equipos con valores apropiados de rigidez dieléctrica, capacidad de paso de corriente e impedancia, a fin de que puedan soportar las condiciones a que son sometidos.

1.3 *Tipos de dispositivos de protección*

1.3.1 *Descargadores de aire con electrodos de carbón o metálicos*

Estos dispositivos se suelen conectar entre cada hilo de una línea y tierra y limitan la tensión que puede producirse entre sus electrodos. Son de bajo costo, pero su resistencia de aislamiento puede disminuir de modo apreciable tras un funcionamiento repetido, y es posible que deban sustituirse a menudo.

1.3.2 *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. Estos dispositivos son compactos y pueden funcionar frecuentemente sin necesidad de atención alguna.

En la Recomendación K.12 se incluyen las características detalladas de descargadores de gas.

1.3.3 *Dispositivos de protección con semiconductores*

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

1.3.4 *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 contratiempos debidos 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.

1.3.5 *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.

1.3.6 *Limitadores de intensidad con restablecimiento automático*

Los fusibles y las bobinas térmicas tienen el inconveniente de que interrumpen permanentemente un circuito al funcionar y exigen entonces la sustitución manual. Existen dispositivos de impedancia variable que, tras su calentamiento por efecto de sobrecorrientes, experimentan un fortísimo aumento de su resistencia eléctrica. El dispositivo vuelve a tener la resistencia eléctrica baja normal cuando cesa la sobrecorriente. Se llama la atención sobre el tiempo de respuesta y la tensión máxima tolerada por esos dispositivos.

1.4 *Efectos residuales*

Las medidas de protección tienen esencialmente por efecto garantizar que la mayor parte de la energía eléctrica producida por una perturbación no se disipe en una parte vulnerable de la instalación y no alcance al personal. Sin embargo, un dispositivo cuyas características permitan una supresión ideal de todas las tensiones o corrientes relacionadas con perturbaciones no puede existir por las siguientes razones:

1.4.1 *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 se producen 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.

1.4.2 *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.

1.4.3 *Efecto sobre el funcionamiento normal del circuito – Diseño coordinado*

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

De modo semejante, las características normales (impedancias internas) de los elementos de protección han de ser compatibles con el funcionamiento normal de las instalaciones, para el cual habrá de tener en cuenta la posible presencia de aquéllos.

1.4.4 *Alteraciones resultantes*

Un dispositivo de protección puede resguardar una sección de la línea a costa de otra, por ejemplo, si un fusible de repartidor principal 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.

Asimismo, el funcionamiento de un dispositivo de protección puede reducir mucho la impedancia interna equivalente de un circuito con relación al equipo a que está conectado, lo que permite que circulen corrientes que pueden causar daños.

1.4.5 *Coordinación de dispositivos de protección primaria y secundaria*

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 descargador 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, o puede circular una corriente excesiva por los hilos de interconexión.

1.4.6 *Elevación de la temperatura*

Los dispositivos de protección deben construirse e instalarse de tal modo que la elevación de temperatura causada por su funcionamiento no cause daños a las cosas o represente un peligro para las personas.

1.4.7 *Disponibilidad del circuito*

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

1.4.8 *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.

1.5 *Evaluación de los riesgos*

1.5.1 El comportamiento de un sistema de telecomunicaciones en lo que respecta a las sobretensiones depende de:

- el entorno, es decir, magnitud y probabilidad de las sobretensiones que se producen en la red de líneas asociada con el sistema;
- los métodos de construcción utilizados en la red (véase el § 2);
- la insensibilidad a las sobretensiones de los equipos del sistema;
- la instalación de dispositivos de protección;
- la calidad del sistema de puesta a tierra previsto para el funcionamiento de los dispositivos de protección.

1.5.2 *Entorno*

Al hacer una evaluación del entorno deben tenerse en cuenta los factores mencionados en 1.1.

La gravedad de las sobretensiones producidas por descargas de rayo varía mucho de una localidad a otra. Un alto nivel ceráunico y una alta resistividad del suelo aumentan el riesgo de descargas directas y próximas de rayos y, como los rayos son la causa de un gran número de averías del sistema de distribución de energía, los efectos de inducción y de subida del potencial de tierra aumentan también. Por otro lado, las instalaciones metálicas subterráneas, como tuberías de agua, cables armados, etc., constituyen una pantalla para los cables telefónicos y reducen considerablemente las sobretensiones debidas al rayo o la inducción.

- La experiencia muestra que en el centro de las ciudades y en regiones de baja actividad ceráunica, las sobretensiones no suelen rebasar las tensiones residuales de los dispositivos de protección, por lo que tales entornos pueden considerarse «no expuestos». En la Recomendación K.20 y en [3] se especifican las pruebas que han de aplicarse a los equipos para uso sin protección en entornos no expuestos; estas pruebas dan una indicación sobre el entorno más desfavorable que puede considerarse como no expuesto.

– Todos los demás ambientes se consideran «expuestos», aunque, por supuesto, esta categoría abarca una extensa gama de condiciones, incluidas situaciones excepcionalmente expuestas en que sólo puede lograrse un servicio satisfactorio utilizando todas las medidas de protección disponibles.

En el caso de tensiones inducidas y subida del potencial de tierra, las sobretensiones pueden calcularse como se indica en la referencia [2], donde se recomiendan también los valores máximos que pueden admitirse bajo condiciones diversas.

1.5.3 *Registros de averías*

Los riesgos de sobretensiones y sobrecorrientes sólo pueden evaluarse debidamente en base a la experiencia. Se recomienda llevar las estadísticas de averías de una forma adecuada para esa finalidad. Las averías debidas a sobretensiones o sobrecorrientes y las debidas a fallos de los componentes protectores, conviene separarlas entre sí, y también de otras averías de los componentes.

1.6 *Decisiones en materia de protección*

1.6.1 Cuando se examina el grado en que la red de telecomunicaciones ha de soportar las sobretensiones, cabe distinguir dos tipos de fallos:

– fallos leves que sólo afectan a pequeñas partes del sistema. Puede admitirse que se produzcan a un nivel aceptable por la Administración;

– averías importantes, incendios, averías de centrales, etc., que, en la medida de lo posible, deben evitarse absolutamente.

En la Recomendación K.20 se presentan ejemplos de las condiciones que podrían permitirse de modo que se causen fallos leves, pero no averías importantes. Conviene también que el fallo de un solo dispositivo de protección no dé lugar a una avería importante.

1.6.2 Conviene prestar atención particular a la protección contra las sobretensiones y las sobrecorrientes en los nuevos tipos de centrales o equipos de abonado, a fin de asegurar que las ventajas que ofrecen sus servicios suplementarios mejorados no se pierdan como consecuencia de averías inadmisibles resultantes de la exposición a sobretensiones o sobrecorrientes. Es posible que tales equipos sean por naturaleza sensibles a estas condiciones y que su deterioro o funcionamiento defectuoso pueda afectar a partes importantes de un sistema.

1.6.3 Se hace observar que una protección excesiva, mediante la instalación de dispositivos de protección innecesarios no sólo es antieconómica sino que puede afectar al comportamiento del sistema ya que los propios dispositivos de protección pudieran ocasionar averías.

1.6.4 En base a las consideraciones que anteceden y la evaluación de los riesgos de conformidad con el § 1.5, conviene tomar una decisión sobre el grado de protección que ha de darse en todas las partes del sistema. Deben tenerse en cuenta consideraciones de tipo comercial, como el coste de las medidas de protección y de las reparaciones, las relaciones con los clientes y la frecuencia probable de averías debidas a sobretensiones y sobrecorrientes en relación con la tasa de averías por otras causas.

La responsabilidad de la toma de esta decisión y de la provisión de todos los dispositivos de protección necesarios para coordinar las líneas y los equipos debe estar claramente definida.

Es necesario que los fabricantes de equipos sean informados por las Administraciones sobre las condiciones que los equipos deben soportar, y que los ingenieros de línea conozcan los límites que podrán soportar los equipos que se conectarán a las líneas. El ingeniero de línea debe determinar también las limitaciones impuestas al equipo conectado a la línea, según el grado de protección de la línea que se proporcione. Cuando diferentes partes de la red, como los aparatos de abonado, las líneas y los centros de conmutación, pertenezcan a diferentes entidades, es posible que dicha coordinación requiera procedimientos formales como la elaboración de normas locales. En la Recomendación K.20 y en [3] se dan instrucciones para la preparación de tales normas.

2 Protección de las líneas

2.1 *Medidas de protección exteriores a los propios conductores*

2.1.1 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 electrificados. 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 ceráunica 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.

2.1.2 La inducción provocada por líneas de transporte de energía puede minimizarse 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.

2.1.3 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.

2.2 *Cables especiales*

Pueden utilizarse cables especiales de alta rigidez dieléctrica cuando haya probabilidad de que se produzcan sobretensiones elevadas.

Los cables ordinarios con aislamiento y cubierta de plástico tienen una rigidez dieléctrica superior a la de los provistos de aislamiento de papel y cubierta de plomo, y son apropiados para la mayoría de las situaciones en que se utilizaban antiguamente cables con aislamiento muy grueso. El uso de cables con aislamiento reforzado puede justificarse en situaciones en que las líneas de transporte de energía están excepcionalmente próximas, son paralelas en un largo trayecto, existe una gran subida del potencial de tierra en las proximidades inmediatas de las estaciones de energía eléctrica o en las que hay una gran exposición al rayo debido a un alto nivel ceráunico y una baja conductividad del suelo.

Otros ejemplos del empleo de cables especiales:

- cables de cubierta metálica que ofrecen un buen factor de reducción a los circuitos de pantalla en el interior del cable;
- cables que llevan circuitos a torres de radiocomunicaciones expuestas y que tienen que permitir el paso de corrientes de rayo sin deteriorarse;
- cables de fibra óptica totalmente dieléctricos (es decir, no metálicos) para lograr el aislamiento entre largos de cable conductivos.

2.3 *Utilización de dispositivos de protección*

Puede ser conveniente la utilización de dispositivos de protección en las siguientes circunstancias:

2.3.1 Los dispositivos de protección pudieran ser más económicos que la construcción especial descrita en los § 2.1 y 2.2. No deben olvidarse a este respecto los costes de mantenimiento, ya que los dispositivos de protección entrañan inevitablemente algunos gastos de mantenimiento y, en cambio, los cables especiales, el apantallamiento, etc., aunque inicialmente costosos, no suelen entrañar gastos continuos.

2.3.2 Los propios cables con aislamiento muy grueso pueden no ser dañados por sobretensiones o sobrecorrientes, pero podrían transmitir esas condiciones a otras partes más vulnerables de la red. Se requiere, por consiguiente, una protección adicional para los cables más vulnerables, siendo ello tanto más importante cuando se trata de cables subterráneos de gran capacidad cuya reparación es onerosa y afecta al servicio de muchos abonados.

2.3.3 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.

2.4 *Instalación de dispositivos de protección*

2.4.1 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 que ha de estar conectada a tierra. 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.

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

2.4.3 Para proteger los cables subterráneos contra las sobretensiones debidas al rayo pueden instalarse dispositivos de protección en los puntos de conexión con las líneas aéreas. Los dispositivos de protección instalados en el repartidor principal y en los terminales de abonado reducen el riesgo de los daños a las líneas, pero su función principal es la de proteger los componentes cuya rigidez dieléctrica es inferior a la de los cables. Véanse la Recomendación K.20 y [3].

2.4.4 Las conexiones de las líneas y las tomas de tierra a los dispositivos de protección contra las sobretensiones causadas por el rayo han de ser lo más cortas posible para reducir al mínimo los niveles de sobretensión entre las líneas y el punto de unión equipotencial.

2.5 *Planificación de los trabajos*

Las consideraciones generales de los § 1.5 y 1.6 se aplican a la protección de las líneas. En la mayor medida posible, se recomienda que las medidas de protección aplicadas a la línea se decidan, al iniciar un proyecto, en función del entorno. Puede ser difícil y oneroso lograr una norma satisfactoria de fiabilidad de una línea instalada inicialmente con protección insuficiente.

3 Protección de centrales y de equipos de transmisión

3.1 *Necesidad de protección externa al equipo*

Las organizaciones de explotación deben tener en cuenta la posible necesidad de instalar dispositivos de protección externos al equipo, habida cuenta de las siguientes consideraciones:

3.1.1 Una línea de telecomunicaciones 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.

3.1.2 El hecho de que los cables con aislamiento de plástico sean cada vez más robustos tiene por efecto un aumento de los niveles de las sobretensiones y sobrecorrientes que pueden circular por las líneas y ser aplicados al equipo. Por el contrario, el uso de componentes electrónicos miniaturizados en centrales y equipos de transmisión tiende a aumentar su vulnerabilidad a las perturbaciones eléctricas.

Por estos motivos, en zonas expuestas a perturbaciones frecuentes e importantes (caída de rayos, líneas de transmisión de energía, suelo de baja conductividad), suele ser necesario intercalar dispositivos de protección de los tipos descritos en el § 1.3 entre los conductores de cables y los equipos a los que se conectan, preferiblemente en el repartidor principal. Con ello se evitará que los cables entre el repartidor principal y los equipos tengan que soportar necesariamente elevadas sobrecorrientes.

Los dispositivos de protección se instalan del lado línea del repartidor principal para evitar que las corrientes de descarga pasen necesariamente por el bastidor de hilos volantes del repartidor principal, y a fin de exponer lo menos posible el cableado y las cintas terminales del repartidor a la tensión de red, ante la eventualidad de que un contacto con la línea de alimentación en energía dé lugar a que un dispositivo de protección en serie desconecte la línea.

3.1.3 En lugares menos expuestos, puede suceder que las perturbaciones (tensiones y corrientes) tengan características estadísticas de nivel y frecuencia tan bajos que, en la práctica, los riesgos no sean superiores a los resultantes de los efectos residuales indicados en el § 1.4 para zonas expuestas. En tal caso, los dispositivos de protección no tienen ninguna finalidad, y su instalación representa un gasto innecesario.

3.2 *Necesidad de que los equipos tengan un nivel mínimo de robustez eléctrica*

En lugares donde las líneas están expuestas y se instalan dispositivos de protección, los efectos residuales tratados en el § 1 pueden dar lugar a que aparezcan sobretensiones y sobrecorrientes en los equipos. En entornos menos expuestos, las perturbaciones descritas en el § 1.1.3 pueden dar lugar a efectos similares. Es necesario que los equipos estén concebidos para soportar tales condiciones, y en la Recomendación K.20 se dan recomendaciones detalladas sobre el grado de autoprotección que deben ofrecer los equipos.

3.3 *Efecto de las condiciones de conmutación*

Dado que es necesario modificar, durante las fases sucesivas del establecimiento de una comunicación, la configuración e interconexión de los equipos conectados a una determinada línea, es importante no limitar el estudio sobre la protección exclusivamente a los equipos de una sola línea. Gran parte de los equipos son comunes a todas las líneas y pueden estar expuestos a perturbaciones cuando se conectan a una línea particular.

Si es breve la duración efectiva de la conexión a las líneas, cabe tener en cuenta la consiguiente disminución de la probabilidad de exposición al evaluar la eficacia de los dispositivos de protección instalados. Por otra parte, los equipos comunes deben protegerse mejor dado que, en caso de fallo, se corre el riesgo de una degradación más grave del comportamiento de la central o de la zona.

4 Protección de los equipos terminales de abonado

Los métodos de protección ya especificados para los equipos de la central pueden a menudo aplicarse con provecho a los equipos de abonado. La referencia [3] contiene pruebas detalladas para determinar el grado de autoprotección del equipo de abonado. Conviene también examinar los aspectos concretos que seguidamente se describen.

4.1 *Grado de exposición*

Las líneas que van a instalaciones próximas de centrales en zonas urbanas o industriales suelen estar poco expuestas a descargas gracias al efecto de apantallamiento de las numerosas estructuras metálicas cercanas, como se indica en el § 2.1.

Por otra parte, las líneas que van a instalaciones alejadas de zonas construidas pueden estar muy expuestas dada su longitud, la ausencia de un entorno protector, líneas aéreas hacia el terminal del abonado y alta resistividad del suelo. La robustez mecánica de los cables aéreos en el terminal de abonado hace que el efecto de las descargas sea tanto más grave, dado que por la propia línea pueden propagarse elevadas tensiones y corrientes.

4.2 *Rigidez dieléctrica*

Conviene que el aislamiento entre las partes conductoras conectadas a las líneas y las demás partes accesibles al usuario tenga una alta rigidez dieléctrica.

4.3 *Utilización de dispositivos de protección*

Cuando las líneas telefónicas están expuestas a perturbaciones frecuentes e importantes debidas a averías en las líneas de distribución de energía o a descargas de rayos, puede limitarse la tensión de las líneas con relación al potencial de tierra local conectando dispositivos de protección de los tipos descritos en el § 1.3 entre los conductores de la línea y el terminal de toma de tierra.

Conviene elegir la rigidez dieléctrica de los equipos terminales teniendo en cuenta la tensión de ruptura del dispositivo de protección y la impedancia de la línea entre dicho dispositivo y su conexión a tierra.

4.4 *Punto de unión común*

Puede ocurrir que en las instalaciones del equipo terminal de abonado no se disponga de una toma de tierra de baja resistencia para los dispositivos de protección contra las sobretensiones, o que los costes de instalación de una toma de tierra apropiada de baja resistencia sean excesivos frente a los costes de otras instalaciones. Por otra parte, el equipo terminal puede ubicarse junto a sistemas enterrados, como son las tuberías de agua, o ser alimentado en energía a partir de una red eléctrica.

Para reducir al mínimo tanto los daños que puedan ocasionarse a los equipos como la exposición del abonado a altas tensiones, aun en el caso de que la resistencia del terreno no sea suficientemente baja, todos los sistemas conectados a tierra, tierras de señalización y el neutro de la red eléctrica deben conectarse juntos, sea directamente, sea a través de un descargador de chispa. Aunque esta unión pueda resultar onerosa, evita la dificultad de proveer una toma de tierra de baja resistencia, y constituye una técnica muy utilizada. En algunos países, la conexión al neutro de la red eléctrica se rige por disposiciones nacionales, por lo que es necesario obtener el acuerdo de la compañía responsable de la red de distribución eléctrica.

4.5 *Reglamentos nacionales*

En muchos países existen normas nacionales relativas a la protección de los usuarios de equipos de telecomunicación, no sólo contra el riesgo asociado con la conexión a la red de distribución de energía eléctrica, sino también contra las condiciones que pueden presentarse en la línea telefónica.

4.6 *Elevado coste del mantenimiento de las instalaciones de abonado*

El coste de las reparaciones en instalaciones terminales expuestas puede ser elevado por la distancia desde el centro de mantenimiento, el tiempo del transporte y, posiblemente, la gravedad de los daños. Además, un grado insuficiente de protección da lugar a interrupciones repetidas del servicio que, en particular, reducen la calidad del mismo y el grado de satisfacción del abonado. Ello justifica la prestación de una atención especial a las medidas de protección.

Referencias

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

[2] Manual del CCITT *Directrices para la protección de las líneas de telecomunicación contra la acción perjudicial de las líneas eléctricas*, UIT, Ginebra. Se están revisando estas directrices que, en el futuro, se dividirán en varios volúmenes. Se ampliará oportunamente esta referencia para indicar los volúmenes apropiados.

[3] Proyecto de Recomendación del CCITT *Grado de autoprotección del equipo de telecomunicaciones de abonado contra las sobretensiones y sobrecorrientes*, anexo 3, COM V-R 9.

[4] Manual del CCITT *Puesta a tierra de las instalaciones de telecomunicación*, UIT, Ginebra, 1976.

Recomendación K.12 (Ginebra, 1972; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984)

CARACTERÍSTICAS DE LOS DESCARGADORES DE GAS PARA LA PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE TELECOMUNICACIONES

Introducción

En la presente Recomendación se indican los requisitos fundamentales que han de satisfacer los descargadores de gas (tubos de descarga en atmósfera gaseosa) empleados para proteger los equipos de central y las líneas y equipos de abonado contra las sobretensiones. Esta Recomendación está destinada a servir de base para la armonización de las especificaciones actuales o futuras, formuladas por los fabricantes de descargadores de gas, de equipos de telecomunicaciones, o por las Administraciones.

Sólo se especifican los requisitos mínimos que deben cumplir las características esenciales. Habida cuenta de que ciertos usuarios tal vez se encuentren en ambientes diferentes o tengan condiciones operativas, objetivos de servicio, o limitaciones económicas distintas, es posible que estos requisitos necesiten modificaciones o adiciones con vistas a su adaptación a las condiciones locales.

En esta Recomendación se dan orientaciones sobre el uso de descargadores de gas para limitar las sobretensiones en las líneas de telecomunicaciones.

1 Campo de aplicación

La presente Recomendación:

a) indica las características de los descargadores de gas utilizados de conformidad con la Recomendación K.11 para la protección de equipos de central y líneas de equipos de abonado contra las sobretensiones;

b) trata de los descargadores de gas con 2 ó 3 electrodos;

c) no trata de los modos de montaje ni sus efectos sobre las características del descargador. Las características indicadas sólo se aplican a los descargadores de gas, montados únicamente en los modos descritos para las pruebas;

d) no trata de las dimensiones mecánicas;

e) no trata de los requisitos sobre garantía de calidad;

f) no trata de los descargadores de gas montados en serie con resistencias variables con la tensión, destinados a limitar las corrientes residuales en las redes de energía eléctrica;

g) puede ser insuficiente en el caso de los descargadores de gas utilizados en sistemas de alta frecuencia o multicanales.

2 Definiciones

En el apéndice I se definen ciertos términos utilizados en relación con los descargadores de gas. Se incluyen algunos términos no utilizados en esta Recomendación.

3 Condiciones ambientales

Los descargadores de gas han de soportar durante su almacenamiento las siguientes condiciones sin sufrir daños:

Temperatura: de -40 a $+90$ °C;

Humedad relativa: de hasta 95%.

(Véanse también los § 7.5 y 7.7.)

4 Características eléctricas

Cuando sean sometidos a pruebas de conformidad con el § 5, los descargadores de gas han de presentar las características que se indican a continuación.

Los § 4.1 y 4.5 se aplican a los descargadores de gas nuevos, y, cuando se hace referencia a ellos en el § 4.6, a los descargadores sometidos a pruebas de duración.

4.1 *Tensiones de cebado* (véanse los § 5.1 y 5.2 y las figuras 1/K.12, 2/K.12 y 3/K.12)

4.1.1 Las tensiones de cebado entre los electrodos de un descargador de dos electrodos o entre el electrodo de línea y el electrodo de tierra de un descargador de tres electrodos deberán estar comprendidas dentro de los límites indicados en el cuadro 1/K.12.

CUADRO 1/K.12

Tensión continua de cebado			Tensión máxima de cebado por choque	
Nominal (V)	Mínimo (V)	Máximo (V)	Pendiente de subida 100 V/µs	Pendiente de subida 1000 V/µs
230	180	300	700	900
250/1	200	450	700	900
250/2	200	300	700	900
300	255	345	700	900
350/1	265	600	1000	1100
350/2	290	600	900	1000

4.1.2 Para los descargadores de tres electrodos, la tensión de cebado entre los electrodos de línea no debe ser inferior a la tensión continua de cebado mínima indicada en el cuadro 1/K.12.

4.2 *Tensiones de mantenimiento de descarga* (véanse el § 5.5 y las figuras 4/K.12 y 5/K.12)

Todos los tipos de descargadores presentarán, cuando sean sometidos a una o varias de las pruebas que se indican a continuación según su utilización prevista, un tiempo de circulación de la corriente inferior a 150 ms.

4.2.1 Descargadores de dos electrodos probados en un circuito equivalente al de la figura 4/K.12, en el que los componentes del circuito de prueba tienen los valores indicados en el cuadro 2/K.12.

CUADRO 2/K.12

Componente	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Fuente de alimentación (FA1)	52 V	80 V	135 V
R3	260 Ω	330 Ω	1300 Ω
R2	Nota	150 Ω	150 Ω
C1	Nota	100 nF	100 nF

Nota – Componentes omitidos en esta prueba.

4.2.2 Descargadores de tres electrodos probados en un circuito equivalente al de la figura 5/K.12, en el que los componentes tienen los valores indicados en el cuadro 3/K.12.

CUADRO 3/K.12

Componente	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
FA1	52 V	80 V	135 V
FA2	0 V	0 V	52 V
R3	260 Ω	330 Ω	1300 Ω
R2	Nota	150 Ω	150 Ω
C1	Nota	100 nF	100 nF

Nota – Componentes omitidos en esta prueba.

4.3 *Resistencia de aislamiento* (véase el § 5.3)

El valor inicial no debe ser inferior a 1000 Mohmios.

4.4 *Capacidad*

No superior a 20 pF.

4.5 *Tensión transversal de impulsos – descargadores de tres electrodos* (véanse el § 5.9 y la figura 6/K.12)

La diferencia en el tiempo no debe exceder de 200 ns.

4.6 *Pruebas de duración* (§ 5.6, 5.7 y 5.8)

Se aplicarán las corrientes especificadas en el § 4.6.1 que corresponden a la corriente nominal del descargador. Después de la aplicación de cada corriente, el descargador de gas deberá satisfacer los requisitos indicados en el § 4.6.2. Al finalizar el número de aplicaciones de corriente especificado, el descargador deberá satisfacer los requisitos indicados en el § 4.6.3.

4.6.1 *Corrientes de prueba*

Los descargadores de gas destinados a emplearse únicamente en repartidores principales o en situaciones similares donde estén conectados a conductores de líneas constituidas por cables de pares simétricos, se someterán a las corrientes indicadas en las columnas 2 y 3 del cuadro 4/K.12. Los descargadores de gas, destinados a utilizarse conectados directamente a líneas de hilo desnudo, serán designados EXT por el comprador y se someterán a las corrientes indicadas en las columnas 2, 3, y 4 del cuadro 4/K.12.

CUADRO 4/K.12

Corriente nominal	Corriente alterna (15 a 62 Hz) durante un segundo		Corriente de impulsos 10/700, 500 aplicaciones o 10/1000, 300 aplicaciones	Impulso 8/20, 10 aplicaciones (tubos EXT únicamente)
A	Valor eficaz (A)	N.° de aplicaciones	Valor de cresta (A)	Valor de cresta (kA)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2,5	2,5	5	50	2,5
5	5	5	100	5
10	10	5	100	10
20	20	10	200	20

4.6.2 *Requisitos que deben satisfacerse durante la prueba de duración*

Resistencia de aislamiento: no inferior a 10 Mohmios.

Tensiones continua de cebado y de cebado por choque: no superiores a los valores correspondientes indicados en el § 4.1.

4.6.3 *Requisitos que deben satisfacerse después de concluida la prueba de duración*

Resistencia de aislamiento: no inferior a 100 Mohmios (10 Mohmios si así lo especifica el comprador).

Tensiones continua de cebado y de cebado por choque: véase el § 4.1.

Tensión de mantenimiento de descarga: véase el § 4.2.

5 Métodos de prueba

5.1 *Tensión continua de cebado* (véanse el § 4.1 y las figuras 1/K.12 y 2/K.12)

El descargador de gas se dejará en la oscuridad durante por lo menos 24 horas inmediatamente antes de la prueba y se probará, también en la oscuridad, con una tensión que aumente con lentitud suficiente para que la tensión de cebado sea independiente de la pendiente de subida de la tensión aplicada. De ordinario, la pendiente de subida es de 100 V/s, pero pueden utilizarse velocidades mayores si se demuestra que la tensión de cebado no se altera de modo significativo. En la figura 1/K.12 se indican las tolerancias para la forma de onda de la tensión de prueba creciente. La tensión se mide entre los terminales del generador en circuito abierto. En la figura 1/K.12, $U_{máx}$ es toda tensión superior a la máxima permitida para la tensión continua de cebado del descargador de gas e inferior al triple del mínimo permitido para la tensión continua de cebado del descargador.

En la prueba se empleará un circuito apropiado, como el de la figura 2/K.12. Debe observarse un intervalo de 15 minutos, como mínimo, entre las repeticiones de las pruebas, con una u otra polaridad, del mismo descargador de gas.

Cada par de terminales de un descargador de gas de tres electrodos se probará por separado, manteniendo desconectado el otro terminal.

Observación – Se indica seguidamente el modo de empleo de la figura 1/K.12.

Podrá utilizarse la misma plantilla para todos los valores de $U_{máx}$ y de pendiente nominal de subida, siempre que sea de tamaño adecuado para la representación de la onda y que pueden ajustarse las escalas U y T de ésta. Ello es así debido a que en el eje de ordenadas hay puntos arbitrarios identificados mediante 0 y $U_{máx}$, con el valor 0,2 $U_{máx}$ en el punto apropiado entre ellos, y el eje de abscisas tiene puntos arbitrarios que llevan la indicación 0 y T_2, con T_1 (= 0,2 T_2), 0,9 T_1, 1,1 T_1, 0,9 T_2, 1,1 T_2, marcados en los puntos apropiados. Los puntos de intersección con los ejes X e Y no coinciden forzosamente y, en realidad, no es necesario indicarlos.

A fin de comparar la forma de una onda con la plantilla es preciso conocer los valores de $U_{máx}$ y de la pendiente nominal de subida de la onda de que trate. A título de ejemplo, supóngase una onda con $U_{máx}$ = 750 V y una pendiente nominal de subida de 100 V/s.

Por consiguiente, 0,2 $U_{máx}$ = 150 V; T_2 = 7,5 s; T_1 = 1,5 s.

Apóyese la plantilla contra la forma de onda y ajústese la escala vertical de modo que el punto 150 V coincida con 0,2 $U_{máx}$ y el punto 750 V con $U_{máx}$. Ajústese la escala horizontal de modo análogo para 1,5 s = T_1 y 7,5 s = T_2. Deslícese la plantilla de modo que el punto 150 V caiga dentro del límite inferior de la ventana de prueba; la parte restante de la onda, hasta 750 V debe quedar dentro de esa ventana.

5.2 *Tensión de cebado por choque* (véanse el § 4.1 y las figuras 1/K.12 y 3/K.12)

El descargador de gas se dejará en la oscuridad durante por lo menos 15 minutos inmediatamente antes de la prueba y se probará también en la oscuridad. La pendiente de subida de la onda de tensión medida entre los terminales de prueba en circuito abierto, se elegirá de acuerdo con el § 4.1 y deberá hallarse en la zona comprendida entre los límites indicados en la figura 1/K.12. En la figura 3/K.12 se muestra un ejemplo de montaje para la realización de la prueba, con un impulso de tensión cuya pendiente nominal de subida es de 1,0 kV/µs.

Debe transcurrir un mínimo de 15 minutos entre las repeticiones de la prueba, con una u otra polaridad, del mismo descargador.

Cada par de terminales de un descargador de gas de tres electrodos se probará por separado, manteniendo desconectado el otro terminal.

5.3 *Resistencia de aislamiento* (véase el § 4.3)

Se medirá la resistencia de aislamiento entre cada terminal y los demás terminales del descargador de gas. La medida se efectuará aplicando un potencial de por lo menos 100 V y no inferior al 90% de la tensión continua de cebado mínima permitida. La fuente empleada en la medición se limitará a una corriente de cortocircuito de menos de 10 mA. En los descargadores de gas de tres electrodos los terminales que no sean objeto de la medición, permanecerán desconectados.

5.4 *Capacidad* (véase el § 4.4)

Se medirá la capacidad entre cada terminal y cada uno de los demás terminales del descargador de gas. En las mediciones efectuadas con descargadores de tres electrodos, el terminal que no sea objeto de la prueba se conectará a la tierra del instrumento de medición.

5.5 *Prueba de mantenimiento de la descarga* (véase el § 4.2)

5.5.1 *Descargadores de gas de dos electrodos* (véase la figura 4/K.12)

Las pruebas se realizarán utilizando el circuito de la figura 4/K.12. Los valores de FA1, R2, R3 y C1 se elegirán para cada condición de prueba de acuerdo con el cuadro 2/K.12. La corriente procedente del generador de sobretensiones tendrá una forma de impulso de 100 A, 10/1000 ó 10/700, medida a través de un cortocircuito que reemplace el descargador de gas objeto de la prueba. La polaridad del impulso de corriente y a través del descargador de gas, será idéntica a la de la corriente procedente de FA1. Se medirá el tiempo de circulación de la corriente para cada sentido del paso de la corriente por el descargador. Se aplicarán tres impulsos con intervalos no mayores de un minuto y se medirá en cada caso el tiempo de circulación de la corriente.

5.5.2 *Descargadores de gas de tres electrodos* (véase la figura 5/K.12)

Estas pruebas se realizarán utilizando el circuito de la figura 5/K.12. Los valores de los componentes del circuito se elegirán de acuerdo con el cuadro 3/K.12. Las corrientes simultáneas aplicadas entre electrodos del descargador tendrán formas de impulso de 100 A, 10/1000 ó 10/700, medidas a través de un cortocircuito que reemplace el descargador objeto de la prueba. La polaridad del impulso de corriente a través del descargador de gas será igual a la de la corriente procedente de FA1 y FA2.

Para cada condición de prueba, se medirá el tiempo de circulación de la corriente para ambas polaridades del impulso de corriente. Se aplicarán tres impulsos en cada sentido a intervalos no mayores de 1 minuto y se medirá el tiempo de circulación de la corriente para cada impulso.

5.6 *Pruebas con impulsos de choque – Todos los tipos de descargador de gas* (véase el § 4.6)

Se utilizarán descargadores de gas nuevos y se aplicarán impulsos de corriente según lo especificado en la columna 3 del cuadro 4/K.12 para la corriente nominal del descargador. La mitad del número especificado de pruebas se efectuará con una polaridad, y seguidamente, se efectuará la otra mitad con la polaridad opuesta. También podrán probarse la mitad de los descargadores de la muestra con una polaridad y la otra mitad con la polaridad opuesta. La frecuencia de repetición de los impulsos debe ser tal que se evite la acumulación térmica en el descargador de gas.

La tensión de la fuente debe ser superior en un 50% por lo menos a la tensión máxima de cebado por choque. La corriente de descarga por choque y la forma de onda especificadas se medirán sustituyendo el descargador por un cortocircuito. Para los descargadores de tres electrodos, se descargarán simultáneamente de cada electrodo al electrodo común impulsos de corriente independientes, que tengan, cada una, el valor especificado en la columna 3 del cuadro 4/K.12.

El descargador de gas se probará después de cada paso de un impulso de corriente o a intervalos menos frecuentes si así se hubiese convenido entre el proveedor y el comprador, a fin de determinar si satisface los requisitos indicados en el § 4.6.2.

Una vez cumplido el número especificado de pasos de impulsos de corriente, se dejará enfriar el descargador hasta la temperatura ambiente y se probará a fin de determinar si satisface lo indicado en el § 4.6.3.

5.7 *Pruebas con impulsos de choque – Pruebas adicionales para descargadores con la indicación EXT* (véase el § 4.6)

De acuerdo con lo indicado en el § 5.6, pero aplicando las condiciones de la columna 4 del cuadro 4/K.12.

5.8 *Pruebas en corriente alterna – Todos los tipos de tubos* (véase el § 4.6)

Se utilizarán descargadores nuevos y se aplicarán corrientes alternas de acuerdo con lo especificado en la columna 2 del cuadro 4/K.12 para la corriente nominal del tubo.

Los intervalos entre las aplicaciones deben ser apropiados para evitar la acumulación térmica en el descargador. La tensión alterna eficaz del generador de corriente será superior en un 50% por lo menos a la tensión continua de cebado máxima del descargador.

La corriente alterna de descarga especificada y la duración se medirán sustituyendo el descargador por un cortocircuito. Para los descargadores de gas de tres electrodos, se descargarán simultáneamente de cada electrodo al electrodo común, corrientes alternas de descarga, cada una de ellas del valor especificado en el cuadro 4/K.12.

El descargador de gas se probará después de cada paso de la corriente alterna de descarga, a fin de determinar si satisface los requisitos del § 4.6.2.

Una vez cumplido el número especificado de aplicaciones de corriente, se dejará enfriar el descargador hasta la temperatura ambiente y se probará a fin de verificar si cumple las condiciones indicadas en el § 4.6.3.

5.9 *Tensión transversal de impulsos de choque* (véanse el § 4.5 y la figura 6/K.12)

Debe medirse la duración de la tensión transversal mientras se aplica simultáneamente a ambos electrodos de línea una tensión impulsiva cuyo frente de onda tenga una pendiente convencional de 1 kV/µs. Puede efectuarse la medición con un dispositivo semejante al representado en la figura 6/K.12. La diferencia de tiempo entre el cebado del primer electrodo y el del segundo se especifica en el § 4.5.

6 Radiación

La radiación que emita toda sustancia radioactiva 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 lotes de descargadores (por ejemplo, en embalajes de cartón para su transporte, almacenamiento, etc.).

El proveedor de los descargadores de gas que contengan sustancias radiactivas deberá suministrar recomendaciones que se ajusten al Reglamento para la seguridad en el transporte de sustancias radiactivas del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y a las demás normas internacionales pertinentes, con respecto a los siguientes puntos:

a) número máximo de artículos por bulto;
b) cantidad máxima por envío;
c) cantidad máxima que puede almacenarse;
d) otros requisitos de almacenamiento;
e) precauciones y requisitos de manipulación;
f) disposiciones respecto de la eliminación de los descargadores.

7 Pruebas relativas a las condiciones ambientales

7.1 *Robustez de las terminaciones*

El usuario especificará una prueba apropiada de las indicadas en la publicación 68-2-21 (1975) de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), si fuesen aplicables.

7.2 *Soldabilidad*

Las terminaciones que hayan de soldarse cumplirán las condiciones de soldabilidad establecidas en la publicación 68-2-20 (1979) de la CEI, prueba Ta, método 1.

7.3 *Resistencia al calor de soldadura*

Los descargadores de gas con terminaciones que hayan de soldarse han de soportar la prueba Tb, método 1B de la publicación 68-2-20 (1979) de la CEI. Una vez restablecida la normalidad, el descargador no deberá presentar señales de deterioro a la inspección ocular y su tensión continua de cebado debe hallarse dentro de los límites establecidos para el mismo.

7.4 *Vibración*

Los descargadores de gas han de soportar, sin deteriorarse, durante 90 minutos vibraciones de 10 a 500 Hz y 0,15 mm de desplazamiento, según se indica en la publicación 68-2-6 (1970) de la CEI. El usuario puede elegir una prueba más rigurosa entre las que figuran en el documento. Al finalizar la prueba, el descargador no deberá mostrar señales de deterioro y cumplirá los requisitos relativos a la tensión continua de cebado y a la resistencia de aislamiento especificados en los § 4.1 y 4.3.

7.5 *Prueba del calor húmedo*

Los descargadores de gas han de soportar la prueba D, severidad IV, de la publicación 68-2-4 de la CEI. Al finalizar la prueba, el descargador cumplirá el requisito de resistencia de aislamiento especificado en el § 4.3.

7.6 *Hermeticidad*

Los descargadores de gas han de superar satisfactoriamente la prueba Qk de pequeñas fugas, durante 600 horas, que se indica en la publicación 68-2-17 (1978) de la CEI. Se utilizará el helio como gas de prueba. La tasa de fuga será inferior a 10^{-7} bar.cm^3.s^{-1}.

Seguidamente, el descargador ha de pasar satisfactoriamente la prueba de grandes fugas Qc, método 1.

7.7 *Bajas temperaturas*

Los descargadores de gas han de soportar, sin deteriorarse, la prueba Aa, $-40\,^{\circ}C$, de 2 horas de duración de la publicación 68-2-1 de la CEI. A la temperatura de $-40\,^{\circ}C$ el descargador cumplirá los requisitos relativos a la tensión de cebado por choque y a la tensión continua de cebado indicados en el § 4.1.

8 Identificación

8.1 *Marcación*

Los descargadores deberán llevar, de manera legible y permanente, las marcas necesarias para que el comprador pueda determinar, mediante inspección:

a) el fabricante,
b) el año de fabricación,
c) el tipo.

El comprador podrá especificar los códigos que hayan de utilizarse a tal efecto.

8.2 *Documentación*

Se proporcionará al comprador la documentación necesaria para que, a partir de la información indicada en el § 8.1, pueda hallar las informaciones siguientes:

a) las características completas de acuerdo con lo establecido en la presente Recomendación;
b) el nombre de la sustancia radioactiva utilizada en el descargador o una declaración de que no se han utilizado tales sustancias.

9 Informaciones que han de suministrarse con los pedidos

El comprador deberá suministrar la siguiente información:

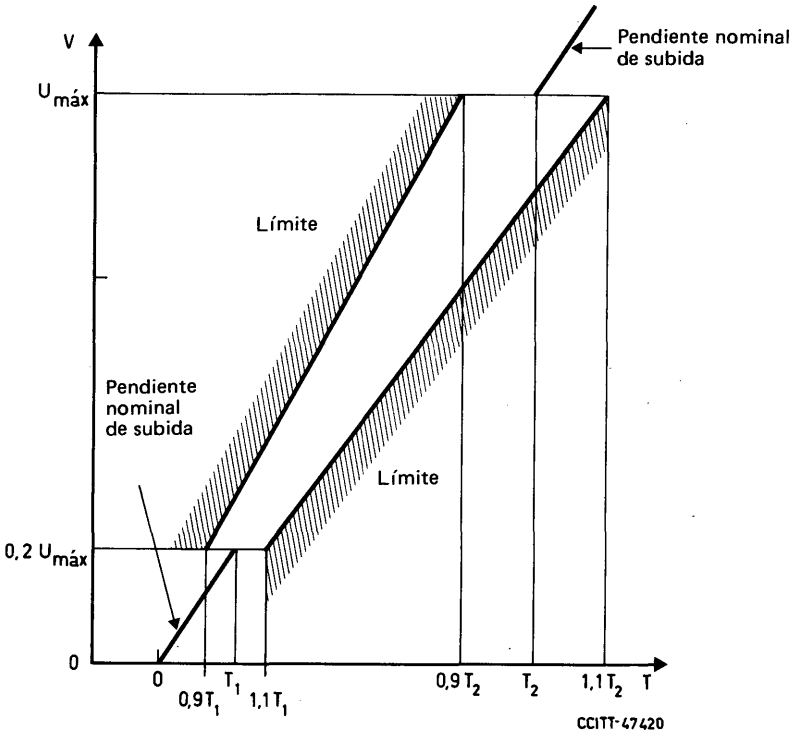
a) esquema con todas las dimensiones y los detalles de acabado y terminación (incluidos el número de electrodos y la identificación del electrodo conectados a tierra);
b) la tensión continua nominal de cebado (véase el § 4.1.1);
c) la corriente nominal (véase el § 4.6.1);
d) la indicación EXT si fuesen necesarias las pruebas indicadas en la columna 4 del cuadro 4/K.12;
e) las pruebas de tensiones de mantenimiento de descarga indicadas en el § 4.2;
f) los códigos de marcación requeridos según el § 8.1;
g) prueba de la robustez de las terminaciones (véase el § 7.1);
h) características de destrucción, si fuesen necesarias, incluido el modo de avería (véase la observación);
i) requisitos de garantía de calidad.

Observación – Una corriente alterna o de impulsos de valor muy superior al indicado en el § 4.6.1 es capaz de destruir el descargador de gas, es decir que puede modificar radicalmente sus características eléctricas. Pueden darse dos casos:

1) El descargador de gas se convierte en un aislador y presenta una rigidez dieléctrica mayor que la que tenía inicialmente, es decir, se comporta como un circuito abierto.

2) El descargador pasa a tener una resistencia limitada, generalmente de valor tan bajo que no permite el funcionamiento normal de la línea; es decir, se comporta como un cortocircuito (esta situación suele ser preferible, desde el punto de vista de la protección y el mantenimiento).

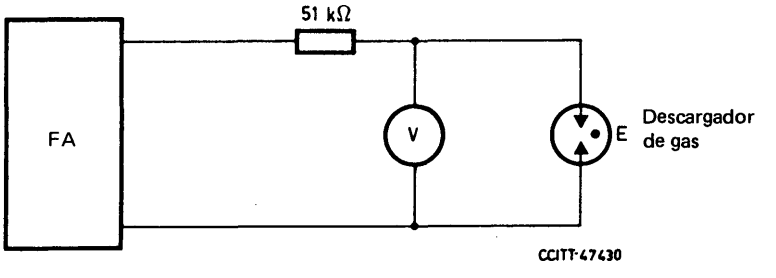
Los métodos de prueba y las relaciones entre el valor y la duración de la corriente destructiva no se detallan en la presente Recomendación, como así tampoco el estado en que ha de quedar el elemento después de su destrucción. Las Administraciones debieran hacer constar sus requisitos a este respecto en su propia documentación.



Nota – La onda de prueba de cebado (antes de la conducción) deberá hallarse dentro de los límites señalados.

FIGURA 1/K.12

Onda de prueba de cebado
(véanse los § 4.1, 5.1 y 5.2)



FA Fuente de alimentación de tensión variable

Nota – Deben preverse medios para que el descargador de gas sólo se cebe una vez.

FIGURA 2/K.12

Circuito para la prueba de la tensión continua de cebado
(véanse los § 4.1 y 5.1)

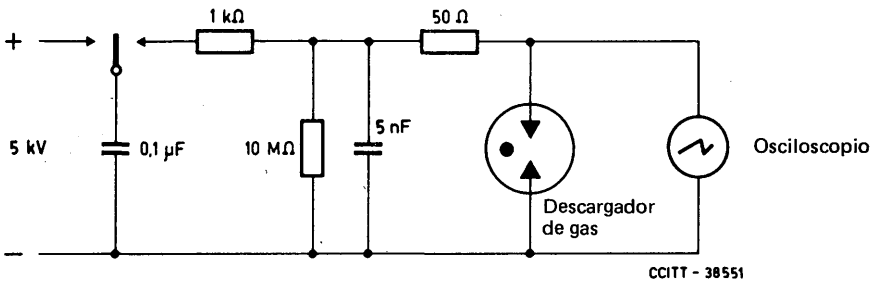
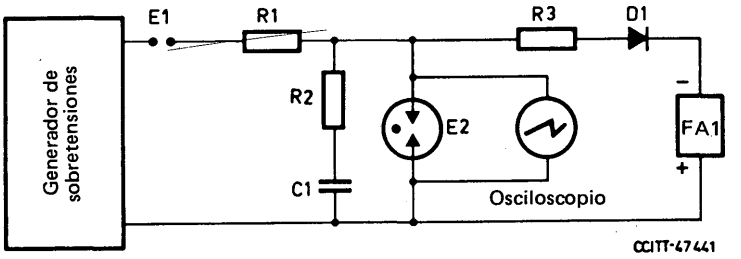


FIGURA 3/K.12

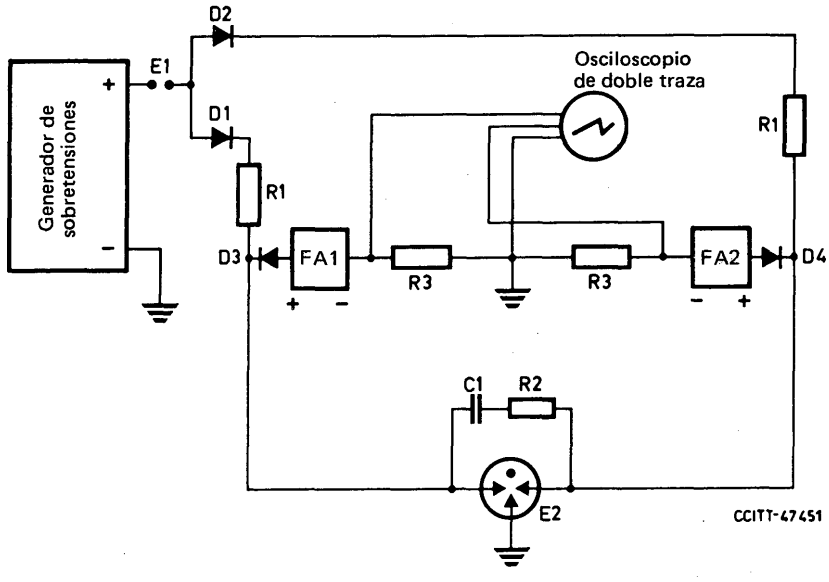
Montaje de medida que produce un impulso de tensión con una pendiente convencional del frente de onda de 1 kV/μs
(véanse los § 4.1 y 5.3)



FA1 Fuente de alimentación de tensión continua constante o batería
E1 Espacio de aislamiento o dispositivo equivalente
E2 Descargador de gas
D1 Diodo de aislamiento u otro dispositivo de aislamiento
R1 Resistencia limitadora de impulsos de corriente o red de conformación de ondas

FIGURA 4/K.12

Circuito para la prueba de mantenimiento de la descarga en descargadores de gas de dos electrodos
(véanse los § 4.2.1 y 5.5.1)

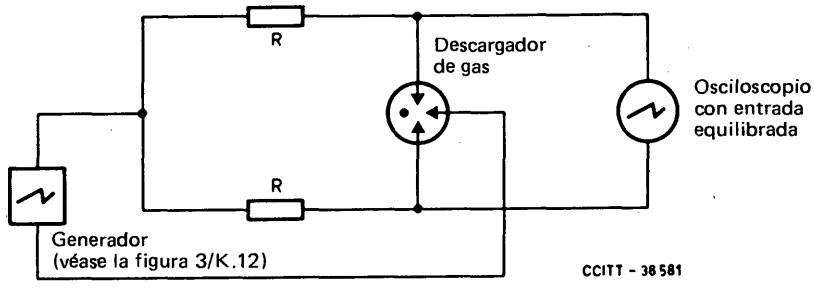


E1	Espacio de aislamiento o dispositivo equivalente
E2	Descargador de gas
FA1, FA2	Baterías o fuentes de alimentación en continua
R1	Resistencias limitadoras de los impulsos de corriente, o redes de conformación de ondas

Nota – La polaridad de los diodos D1 a D4 debe invertirse cuando se invierte la polaridad de las fuentes de alimentación en continua y de los generadores de sobretensiones.

FIGURA 5/K.12

Circuito para las pruebas de mantenimiento de la descarga en descargadores de gas de tres electrodos
(véanse los § 4.2.2 y 5.5.2)



R = Impedancia de la línea

FIGURA 6/K.12

Circuito para la prueba de tensión transversal de choque
(véanse los § 4.5 y 5.9)

APÉNDICE I

Definiciones de términos relacionados con los descargadores de gas

I.1 **corriente de arco**

Corriente de descarga que se produce después del cebado cuando la impedancia del circuito permite una corriente mayor que la de transición de efluvio a arco.

I.2 **tensión de arco**

Tensión que aparece entre los terminales del descargador de gas durante el paso de la corriente de arco.

I.3 **ruptura**

Véase *cebado.*

I.4 **tiempo de corte de la corriente**

Tiempo necesario para que el descargador de gas retorne a un estado de no conducción después de un periodo de conducción.

I.5 **característica de destrucción**

Relación entre el valor de la corriente de descarga y el tiempo de paso de esta corriente, al término del cual el descargador de gas queda destruido mecánicamente (ruptura, cortocircuito entre electrodos). Para periodos comprendidos entre un microsegundo y varios milisegundos, se basa en la corriente de choque de descarga y para duraciones de 0,1 s y superiores se basa en la corriente alterna de descarga.

I.6 **corriente de descarga**

Corriente que pasa por el descargador de gas cuando se produce el cebado.

I.7 **corriente alterna de descarga**

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

I.8 **corriente de choque de descarga**

Valor de cresta del impulso de corriente (corriente de choque) que recorre el descargador de gas.

I.9 **tensión de descarga**

Tensión que aparece entre los terminales de un descargador de gas durante el paso de la corriente de descarga. Denominada también «tensión residual».

I.10 **característica tensión/corriente de descarga**

Variación de los valores de cresta de la tensión de descarga con respecto a la corriente de descarga.

I.11 **corriente residual**

Corriente procedente de la fuente de alimentación conectada que recorre el descargador de gas durante y después del paso de la corriente de descarga.

I.12 **descargador de gas**

Dispositivo con uno o varios espacios interelectrodos en un medio de descarga cerrado y distinto del aire a la presión atmósferica, destinado a proteger los aparatos o el personal contra elevadas tensiones transitorias. Denominado también «descargador con electrodos en atmósfera gaseosa».

I.13 **corriente de efluvio**

Corriente que pasa después del cebado cuando la impedancia del circuito limita la corriente de descarga a un valor inferior al de la corriente de transición de efluvio a arco.

I.14 **corriente de transición de efluvio a arco**

Corriente necesaria para que el descargador de gas pase del modo efluvio al modo arco.

I.15 **tensión de efluvio**

Caída de tensión a través de los terminales del descargador de gas durante el paso de la corriente de efluvio.

I.16 **tensión de mantenimiento de la descarga**

Máxima tensión continua a través de los terminales de un descargador de gas, por encima de la cual cabe prever que el descargador vuelva al estado de elevada impedancia después del paso de un impulso, en condiciones especificadas del circuito.

I.17 **curva de tensión de cebado por choque/tiempo**

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

I.18 **forma de onda de un impulso de choque**

Conforme a lo especificado en la Publicación 60 de la CEI, una forma de onda de impulso de choque se denomina x/y cuando tiene un tiempo de subida de x µs y un tiempo de bajada hasta el 50% de y µs.

I.19 **corriente alterna nominal de descarga**

Para corrientes con frecuencias de 15 Hz a 62 Hz, es la corriente alterna de descarga que, según su dimensionamiento, un descargador de gas ha de dejar pasar durante un tiempo predeterminado.

I.20 **tensión continua nominal de cebado**

Valor especificado por el fabricante para designar el descargador de gas (para la clasificación de los tipos). Sirve también 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.

I.21 **corriente nominal de choque de descarga**

Valor de cresta del impulso de corriente (corriente de choque) para el que se dimensionó el descargador de gas, estando definido el tiempo de paso por la forma de onda del impulso de corriente.

I.22 **tensión residual**

Véase *tensión de descarga.*

I.23 **cebado**

Ruptura eléctrica del espacio interelectrodos de un descargador de gas. Denominado también «ruptura».

I.24 **tensión de cebado**

Tensión que, aplicada entre los terminales de un descargador de gas, causa el cebado de éste.

I.25 **tensión alterna de cebado**

Valor eficaz mínimo de la tensión sinusoidal que a frecuencias comprendidas entre 15 Hz y 62 Hz causa el cebado.

I.26 **tensión continua de cebado**

Tensión a la que se produce el cebado de un descargador de gas cuando se le aplica una tensión continua que crece lentamente.

I.27 **tensión de cebado por choque**

La mayor de las tensiones que parecen en los terminales de un descargador de gas durante el periodo comprendido entre la aplicación de una tensión de choque de forma definida y el instante en que comienza a circular la corriente.

I.28 **tensión transversal**

En el caso de un descargador con más de un espacio interelectrodos, es la diferencia entre las tensiones de descarga de los espacios asignados a los dos conductores de un circuito de telecomunicaciones, durante el paso de la corriente de descarga.

Recomendación K.13 (Ginebra, 1972)

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 mecionados 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, 1982.

[2] *Ibíd*, capítulo XX.

[3] *Ibíd*, capítulo preliminar, § 3.2.3.

Recomendación K.14 (Ginebra, 1972; modificada en Málaga-Toremolinos, 1984)

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 apantallamiento 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 el factor de apantallamiento 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 apantallamiento 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 métalica 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].

8 Factor de apantallamiento (o reductor)

Para todos los tipos de cable, sea cual fuera el revestimiento exterior de plástico, los siguientes hechos permiten evaluar, en general suficientemente, el factor de apantallamiento a la frecuencia de la red de alimentación. En particular, muestran el grado en que el factor de apantallamiento que debe utilizarse en la práctica depende de las condiciones de aplicación.

8.1 *Consideraciones generales*

El efecto de apantallamiento producido por la pantalla metálica de un cable depende esencialmente:

- de la frecuencia de la f.e.m. inducida. Así, la limitación de esta f.e.m. a la frecuencia de la red (16 2/3 Hz, 50 Hz, 60 Hz) es un elemento determinante en la elección del cable, desde el punto de vista de la seguridad del personal y de las instalaciones. Por otra parte, debe tenerse también en cuenta el factor de apantallamiento a las frecuencias más altas cuando se trata de proteger a los equipos contra la interferencia. Una buena reducción de la f.e.m. inducida en la frecuencia de la red puede ser suficiente para lograr una protección completa;
- del nivel de la f.e.m. inducida por unidad de longitud, si la pantalla se compone de materiales ferromagnéticos. El efecto de apantallamiento de un cable así es óptimo para un valor dado de la f.e.m. inducida por unidad de longitud; así pues, es posible que un cable diseñado para reducir f.e.m. inducidas por unidad de longitud elevadas no tenga ninguna eficacia práctica en la protección contra f.e.m. inducidas por unidad de longitud débiles. La constitución de la pantalla debe adaptarse al nivel de la f.e.m. inducida por unidad de longitud;
- de la calidad de su puesta a tierra. El efecto de apantallamiento está determinado por el valor de la corriente que circula por la pantalla metálica. Es, pues, determinante el valor de la resistencia que presentan las partes que permiten el paso de corriente entre la pantalla y tierra. Para cables con cubierta exterior de plástico aislante, si las puestas a tierra se realizan únicamente en los extremos, deben presentar una resistencia de muy bajo valor: es preferible que la cubierta se ponga a tierra a intervalos regulares a lo largo de la línea; si la estructura comporta un revestimiento de plástico conductor, la puesta a tierra de la cubierta es prácticamente continua;
- de la longitud de la sección inducida del enlace que ha de protegerse. Cuanto más larga es la sección, más fácil es mejorar el efecto de apantallamiento. La noción de longitud se refiere, en este caso, a la calidad de las tomas de tierra que han de efectuarse.

8.1.1 *Factor de apantallamiento (o reductor)* (para la aplicación de los símbolos véase el apéndice I)

En las *Directrices* se definen los factores de apantallamiento siguientes más frecuentemente utilizados:

- El factor de apantallamiento nominal, k_n (véase la figura 1/K.14), fácilmente medible en laboratorio y que permite calificar la eficacia del efecto de apantallamiento.

$$k_n = \left| \frac{U_{FM}}{E} \right| = \left| \frac{Z_i^E}{Z_e^E + Z_S} \right|$$

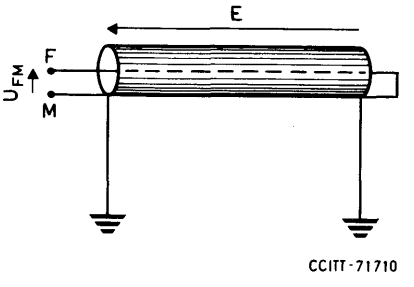


FIGURA 1/K.14

– El factor de apantallamiento con respecto a la tierra distante, $k_{ff'}$ (véase la figura 2/K.14). Conviene tener en cuenta este factor si se trata de proteger un enlace contra riesgos e interferencias, hallándose conectados los extremos de los conductores de los pares de abonado a una toma de tierra neutra, a través de ciertos órganos de los equipos, en ausencia de convertidores.

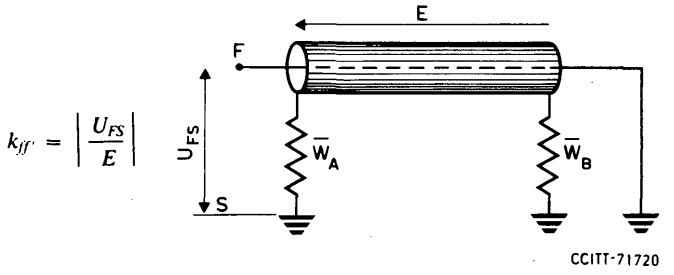


FIGURA 2/K.14

– El factor de apantallamiento relativo a la envolvente, k_{fm}, (véase la figura 3/K.14). Ha de tenerse en cuenta este factor en el caso de que las únicas tomas de tierra accesibles sean las tomas de tierra de la pantalla. Esto se aplica a los cables de enlace entre centros de telecomunicación, al estar sus pantallas conectadas a las tomas de tierra de dichos centros.

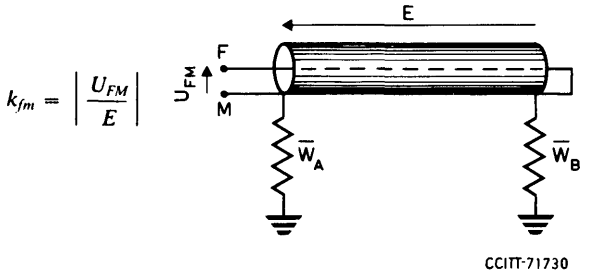


FIGURA 3/K.14

En las *Directrices* figuran explicaciones y fórmulas muy detalladas que permiten calcular con precisión estos factores en las situaciones más diversas. Sin embargo, y como complemento, pueden evaluarse estos factores de apantallamiento mediante expresiones simples con las que se obtiene una precisión a menudo suficiente. Tales expresiones difieren según que el revestimiento exterior del cable sea aislante o conductor, e intervienen en ellas constantes o variables que se enumeran en el apéndice I.

8.2 *Cables con revestimiento exterior aislante*

Si el revestimiento exterior de la cubierta metálica del cable es de material plástico aislante, para obtener un efecto de apantallamiento debe conectarse la cubierta a tierra, en sus extremos y, eventualmente, en otros puntos intermedios.

8.2.1 *Cálculo del factor de apantallamiento*

Puede calcularse entonces el factor de apantallamiento mediante las fórmulas siguientes (véase también el § 3.3.3 del capítulo XII de las *Directrices*):

$$k_{ff'} = \left| \frac{Z_i^E L + \overline{W}_A + \overline{W}_B}{Z_e^E L + Z_s L + \overline{W}_A + \overline{W}_B} \right| \tag{8-1}$$

$$k_{fm} = \left| \frac{Z_i^E L}{Z_e^E L + Z_s L + \overline{W}_A + \overline{W}_B} \right| \tag{8-2}$$

Con todo rigor, la utilización de estas fórmulas supone la puesta a tierra de la cubierta del cable únicamente en sus extremos. Sin embargo, puede considerarse que, para situaciones muy comparables, sólo las tomas de tierra próximas a los extremos tienen influencia sobre el efecto de apantallamiento. Esta fórmula permite, pues, obtener una buena aproximación del efecto de apantallamiento en el caso de puestas a tierra intermedias.

En general, las puestas a tierra en puntos intermedios tienen el efecto de mejorar $k_{ff'}$, pero en cambio degradan k_{fm}.

8.2.2 *Influencia de la longitud*

Si para obtener un factor de apantallamiento $k_{ff'}$, próximo del valor nominal k_n son necesarias puestas a tierra de la cubierta que tengan un valor óhmico que haga difícil la puesta a tierra, puede considerarse entonces que el enlace es «corto». En el caso contrario, el enlace se considerará «largo».

Observación – Se entiende por «enlace» la longitud de cable efectivamente expuesta a inducción.

8.2.2.1 *Enlaces «largos»*

El examen de las fórmulas (8-1) y (8-2) muestra que para enlaces de gran longitud los factores de apantallamiento $k_{ff'}$, y k_{fm} se aproximan a k_n. Ello es cierto para longitudes superiores a:

$$10\ \frac{\overline{W_A} + \overline{W_B}}{Z_i^E}\ \text{aproximadamente}$$

En tal caso, es posible utilizar un cable no armado (Z_e^E próximo a Z_i^E). Por otra parte, cuanto más largo es el enlace, tanto más importante puede ser el valor óhmico de las tomas de tierra de la cubierta.

Es posible que no sea necesario tener esto en cuenta al elegir el cable, y que pueda procederse a esta elección en función de la curva de los valores del factor de apantallamiento nominal k_n para los diferentes valores de f.e.m. inducida, ya que la eficacia obtenida será muy próxima.

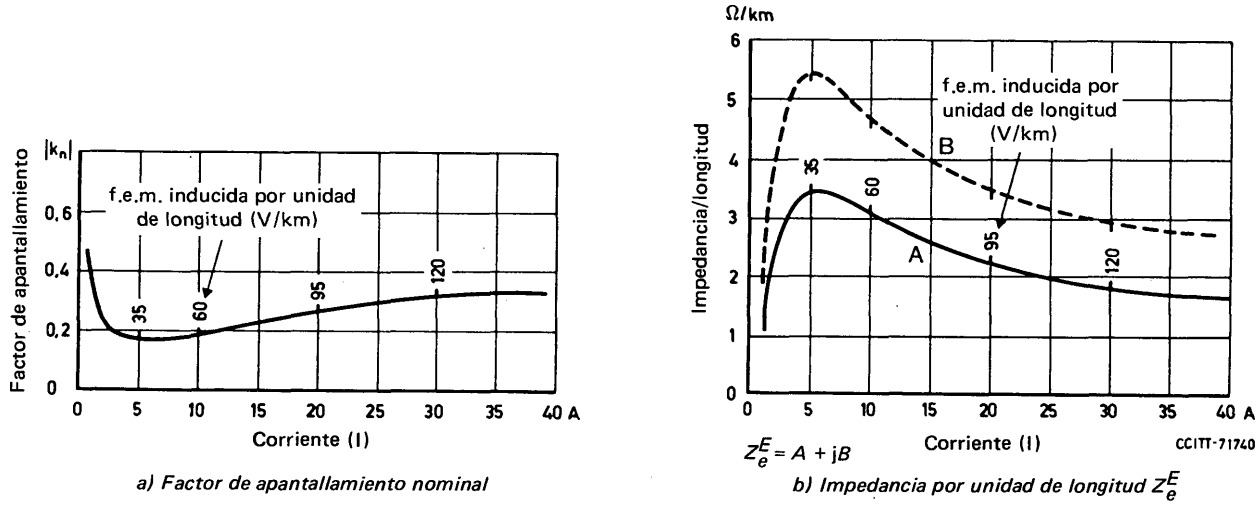
8.2.2.2 *Enlaces «cortos»*

En este caso, el valor del término $Z_i^E L$ es del mismo orden de magnitud que la suma de los valores de las tomas de tierra $\overline{W_A} + \overline{W_B}$ en los extremos. Los factores de apantallamiento $k_{ff'}$, y k_{fm} pueden calcularse con ayuda de las fórmulas (8-1) y (8-2).

Para proteger tales enlaces es necesario utilizar cable armado, lográndose entonces el efecto de apantallamiento gracias al aumento del valor de la impedancia Z_e^E, que se obtiene por la utilización de un material de gran permeabilidad magnética en la constitución de la parte exterior de la cubierta.

Para evaluar $k_{ff'}$, y k_{fm} mediante las fórmulas (8-1) y (8-2), es necesario conocer la curva de las variaciones de Z_e^E en función de la intensidad de la corriente que atraviesa la cubierta (véase la figura 4/K.14).

En el cálculo es necesario, pues, efectuar algunas aproximaciones sucesivas simples para evaluar Z_e^E después de haber elegido un valor de $\overline{W_A}$ y $\overline{W_B}$ correspondiente a tomas de tierra razonablemente realizables, habida cuenta de la resistividad del suelo en los extremos del enlace.



a) Factor de apantallamiento nominal

b) Impedancia por unidad de longitud Z_e^E

FIGURA 4/K.14

Parámetros del cable – Ejemplo de cable de protección de enlaces contra débiles f.e.m. inducidas por unidad de longitud generalmente producidas por líneas de tracción eléctrica

8.3 *Cables de revestimiento exterior conductor*

El revestimiento exterior de la cubierta metálica del cable se hace de material plástico conductor que asegura un contacto eléctrico entre la cubierta y la tierra que rodea el cable.

Si la resistividad del material conductor es próxima o mejor que la del suelo del entorno (se obtienen fácilmente valores de unos 50 Ω m), no se justifica la realización de conexiones intermedias de la cubierta con tierra, a no ser en los extremos.

La corriente que atraviesa la cubierta varía a lo largo del enlace, especialmente cerca de los extremos y en su parte central tiene un valor muy próximo a $I_M = e/(Z_e^E + Z_s)$, que corresponde a la corriente que circularía por la cubierta si su puesta a tierra fuese perfecta (tomas de tierra de valor óhmico nulo).

Así pues, para calcular el factor de apantallamiento $k_{ff'}$, puede admitirse la equivalencia que consiste en sustituir el cable por otro cuya cubierta esté conectada a tierra en cada extremo mediante tomas de tierra de resistencia nula y cuya longitud sea igual a la del enlace L reducida en cada extremo en una longitud l tal que $|P|\, l = 1$.

Ello equivale a considerar que el cable tiene un factor de apantallamiento nominal sobre una longitud más corta igual a $L - 2l$.

Puede, pues, evaluarse aproximadamente $k_{ff'}$ mediante la fórmula siguiente:

$$k_{ff'} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L}\right) + \frac{2l}{L} \qquad (8\text{-}3)$$

De la misma manera, k_{fm} puede expresarse mediante:

$$k_{fm} = k_n \left(1 - \frac{2l}{L}\right)$$

En el caso de que las tomas de tierra de la cubierta metálica sean verdaderamente excelentes, no se aplica la fórmula (8-3). Se considera entonces que el enlace es «largo», siendo $k_{ff'} = k_{fm} = k_n$.

Los parámetros necesarios para el cálculo son los parámetros del cable (Z_e^E, Z_i^E), la f.e.m. inducida por unidad de longitud y la admitancia por unidad de longitud Y de la cubierta con relación a tierra, que puede escogerse, según sea la resistividad de los suelos, entre 1 S y 10 S (se escoge 1 S si se desconoce totalmente la calidad de la puesta a tierra).

8.3.1 *Influencia de la longitud*

Se aplican a este caso las mismas observaciones relativas a los cables con revestimiento aislante.

8.3.2 *Enlaces «largos»*

El factor de apantallamiento se aproxima a k_n. El cable puede ser armado o no, según el resultado buscado.

8.3.3 *Enlaces «cortos»*

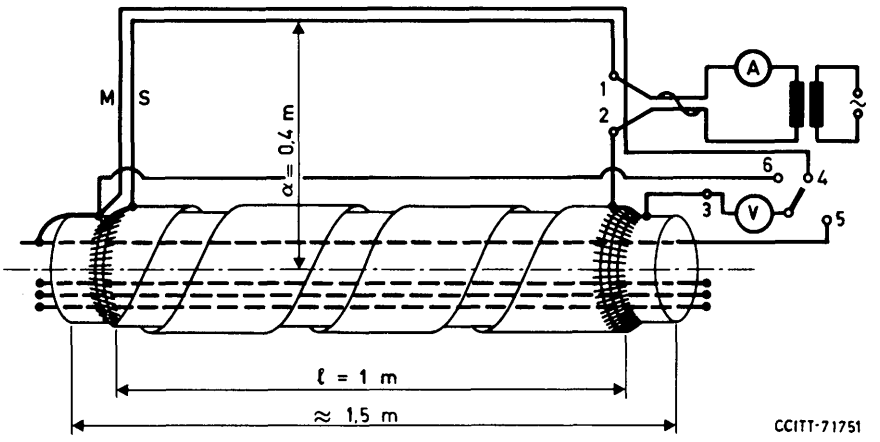
El factor de apantallamiento $k_{ff'}$ puede evaluarse mediante la fórmula (8-3). En la mayoría de los casos, el cable debe ser armado.

8.4 *Determinación de los parámetros del cable*

Si bien el factor de apantallamiento nominal y la impedancia por unidad de longitud Z_i^E pueden medirse gracias al montaje recogido en las *Directrices* (capítulo XII, § 3.3.3.4), la determinación de la impedancia por unidad de longitud Z_e^E puede fundarse:

- ya sea en el cálculo efectuado a partir del diagrama vectorial, trazado con la ayuda de los parámetros medidos I, U_{oi} y U_{oe};
- ya sea en la medida de la tensión U_{oe} que aparece entre el extremo de un hilo conductor aplicado al exterior de la cubierta y el punto de referencia 3; el otro extremo de ese hilo se conecta a la cubierta (véase la figura 5/K.14).

Para ciertos cables cuya pantalla está compuesta de varias capas no ferromagnéticas de alta conductividad, puede resultar más adaptada la medida de esos parámetros con ayuda de un montaje de medida de tipo coaxial.



$$k_n = \frac{U_{oi}}{U_{oe}} = \frac{U_{53}}{U_{43}}$$

$$Z_i^E = \frac{U_{oi}}{I \cdot l} = \frac{U_{53}}{I \cdot l}$$

$$Z_e^E = \frac{U_{oe}}{I \cdot l} = \frac{U_{63}}{I \cdot l}$$

FIGURA 5/K.14

Medida de los parámetros del cable

APÉNDICE

(a la Recomendación K.14)

Símbolos de las magnitudes consideradas en la Recomendación K.14

Z_i^E: Impedancia interna por unidad de longitud con retorno externo. Su valor se aproxima, para las frecuencias de la red, a la resistencia por unidad de longitud en corriente continua.

Z_e^E: Impedancia externa por unidad de longitud con retorno externo.

Z_s: Impedancia por unidad de longitud con retorno por tierra.

Y: Admitancia por unidad de longitud del circuito cubierta-tierra.

P: Constante de propagación del circuito cubierta-tierra.

K: Impedancia característica del circuito cubierta tierra.

$\overline{W}_A$, $\overline{W}_B$: Impedancia de las tomas de tierra en los extremos de la cubierta.

L: Longitud del enlace sometido a inducción.

e: f.e.m. inducida por unidad de longitud.

E: f.e.m. inducida total.

I: Intensidad de la corriente que atraviesa la cubierta.

Referencias

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

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, 1982.

[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.° 2, pp. 255-266, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.° 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.° 3, pp. 381-385, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.° 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, 1982.

[6] *Ibíd*, capítulo IV, § 48.

[7] *Ibíd*, capítulo IV, § 53.

[8] *Ibíd*, 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 $\Gamma \cdot l \leqslant 2$ y $\overline{\Gamma} \cdot l \leqslant 2$); entonces, para cada caso, se pueden encontrar circuitos equivalentes correspondientes (Γ y $\overline{\Gamma}$ 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

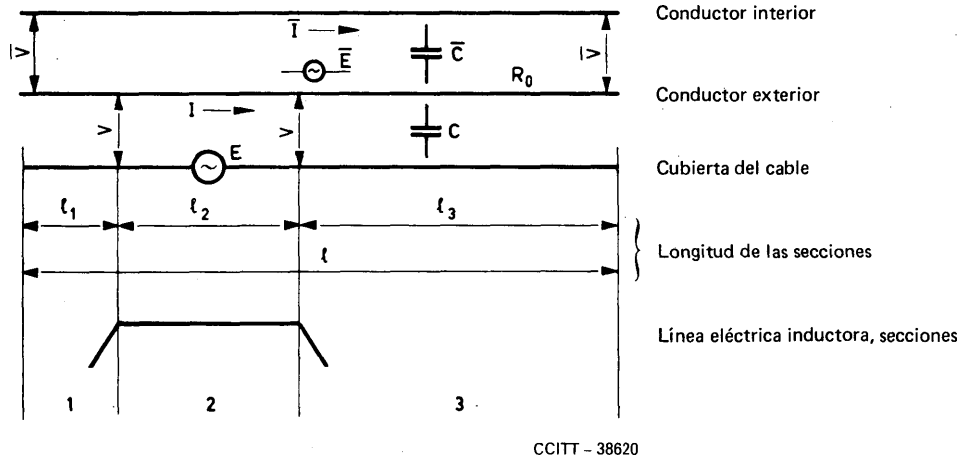
En la hipótesis general de que una sección de alimentación con los conductores exteriores puestos a un potencial flotante (es decir, sin unión a la cubierta del cable o a un sistema de puesta a tierra) esté expuesta a la inducción a lo largo de una sección de posición arbitrariamente elegida, se puede 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 $\overline{E}$, $\overline{C}$, $\overline{V}$, $\overline{I}$, 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.



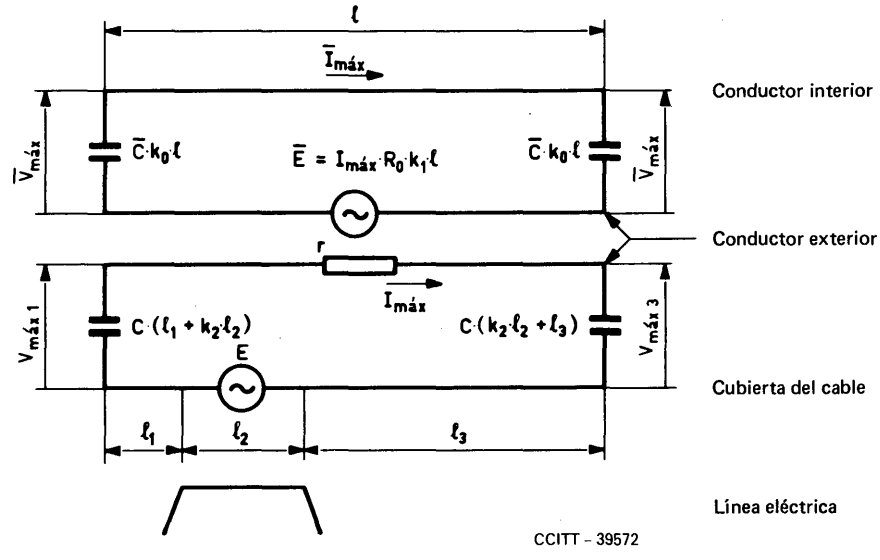
E = tensión longitudinal inducida en el cable (voltios)
$\bar{E}$ = tensión longitudinal en el par coaxial (voltios)
l_2 = longitud de la sección expuesta (km)
l_1, l_3 = longitudes de las secciones no expuestas (km)
l = longitud de la sección de alimentación (km) = $l_1 + l_2 + l_3$
$V, \bar{V}, I, \bar{I}$ = 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 $l_2 \leqslant \frac{l}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
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 $C\,k_0\,l$ en los dos extremos de la figura 2/K.16. En este caso, no puede ya despreciarse la resistencia en serie del conductor interior. En el anexo C se da un ejemplo de aplicación.

3) Las capacidades Cl_1 y Cl_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.

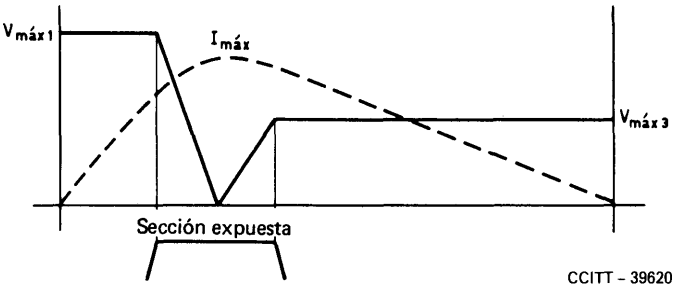


FIGURA 3/K.16

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.

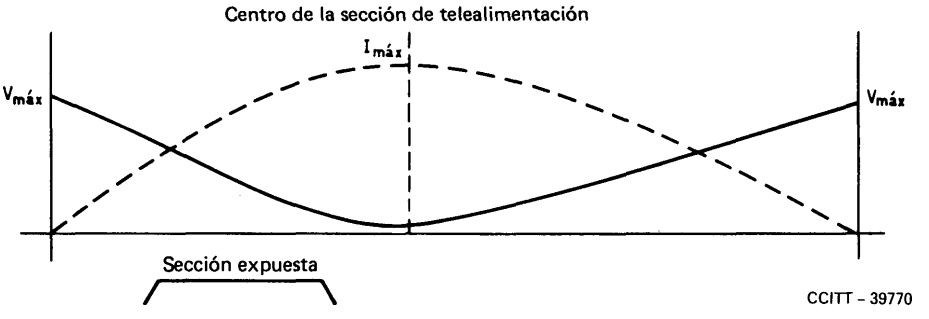


FIGURA 4/K.16

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

ANEXO A

(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.

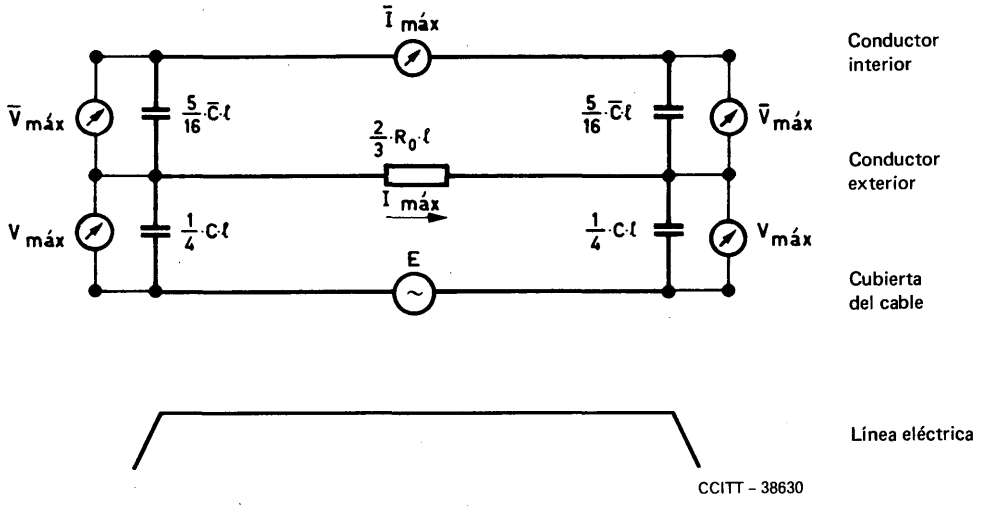
A.2 *Primera etapa – Exposición simétrica – Cálculo completo*

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 ± 45° 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.

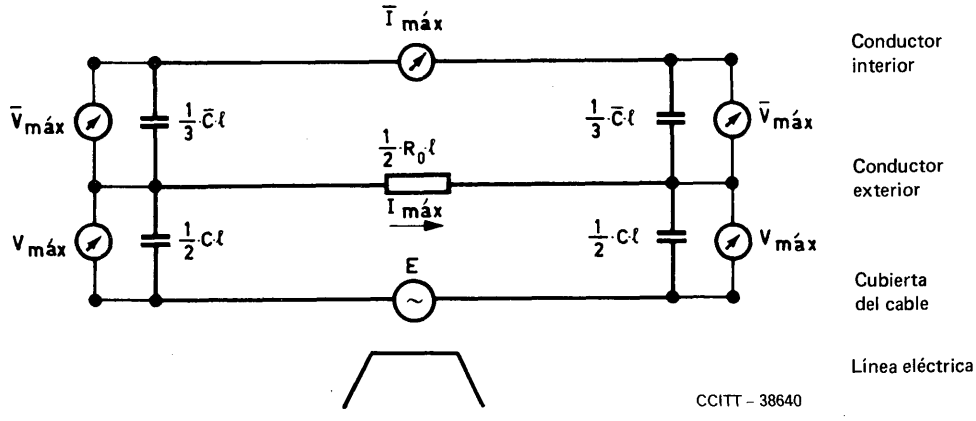
Los circuitos equivalentes de las figuras A-1/K.16 y A-2/K.16 permiten efectuar el cálculo de las tensiones e intensidades máximas en dos casos de exposición simétrica; como estos casos son muy excepcionales, hay que relacionar con ellos el caso general de una exposición asimétrica de cualquier longitud.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



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-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.

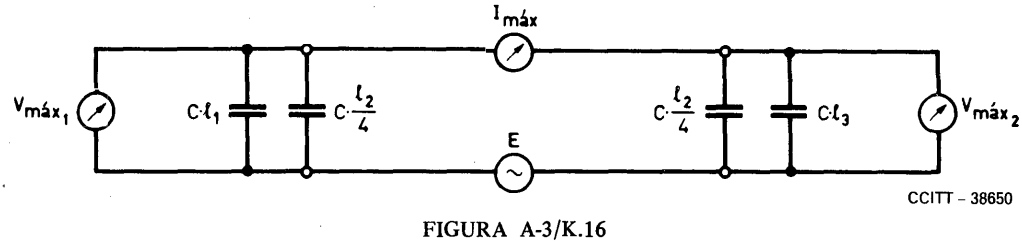


FIGURA A-3/K.16

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.

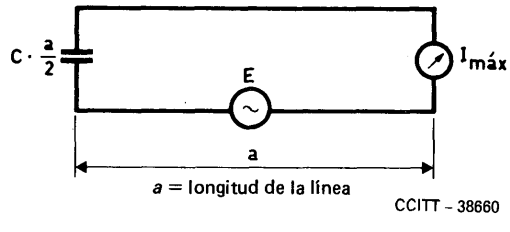


FIGURA A-4/K.16

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:

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

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

Como se verá más adelante, èl 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).

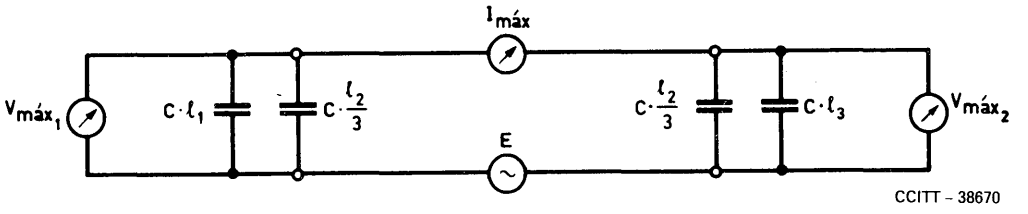


FIGURA A-5/K.16

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

A.4.2 *Impedancia efectiva de transferencia* [1)]

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 $\bar{E} = I_{máx} \cdot Z_t \cdot l$.

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 las 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.

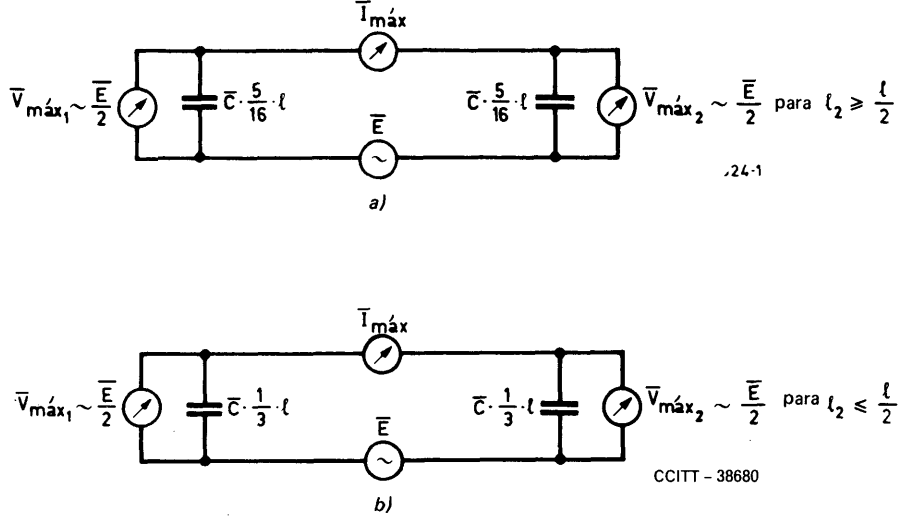


FIGURA A-6/K.16

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.

ANEXO B

(a la Recomendación 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:

$C = 0{,}12\ \mu F/km$; $R_0 = 6{,}2\ \Omega/km$; $\overline{C} = 0{,}2\ \mu F/km$; $l = 64$ 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: $l_1 = 12$ km, $l_2 = 16$ km, $l_3 = 36$ km, $l/2 = 32$ km. Como $l_2 < l/2$, se utilizarán los parámetros siguientes para el circuito equivalente (véase la figura 2/K.16): $k_0 = 1/3$, $k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/3$, $\overline{C} = 0{,}2\ \mu F/km$, $R_0 = 6{,}2\ \Omega/km$, $C = 0{,}12\ \mu F/km$.

Desarrollo

$C l_1 = 0{,}12 \times 12 = 1{,}44\ \mu F$

$C k_2 l_2 = 0{,}12 \times \frac{1}{3} \times 16 = 0{,}64\ \mu F$

$C l_3 = 0{,}12 \times 36 = 4{,}32\ \mu F$

$+$

$2{,}08\ \mu F$

$+$

$4{,}96\ \mu F$

$\frac{1}{\omega C}$ a 50 Hz: $1530\ \Omega + 640\ \Omega = 2170\ \Omega$

$$I_{máx} = \frac{1000\ V}{2170\ \Omega} = 0{,}461\ A$$

$\times\ 1530\ \Omega = V_{máx_1} = 705$ voltios

$\times\ 640\ \Omega = V_{máx_2} = 295$ voltios

$\times\ 198{,}5\ \Omega = \overline{E} = 91{,}6$ voltios

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

$$\frac{1}{2}\overline{E} \approx \overline{V}_{máx_1} \approx \overline{V}_{máx_2} = 45{,}8 \text{ voltios}$$

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

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

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
$V_{máx_1}$	685 V	705 V	+2,9 %
$V_{máx_2}$	315 V	295 V	−6,3 %
$I_{máx}$	0,455 A	0,461 A	+1,3 %
$\overline{V}_{máx_1}$	48 V	45,8 V	−4,6 %
$\overline{V}_{máx_2}$	37,5 V	45,8 V	+22 %
$\overline{I}_{máx}$	55 mA	61,5 mA	+11,8 %

Esta comparación muestra que, exceptuando el valor de $\overline{V}_{máx2}$ 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 $\overline{V}_{máx2}$ no tiene importancia práctica, puesto que sólo afecta al menor de los dos máximos de $\overline{V}$.

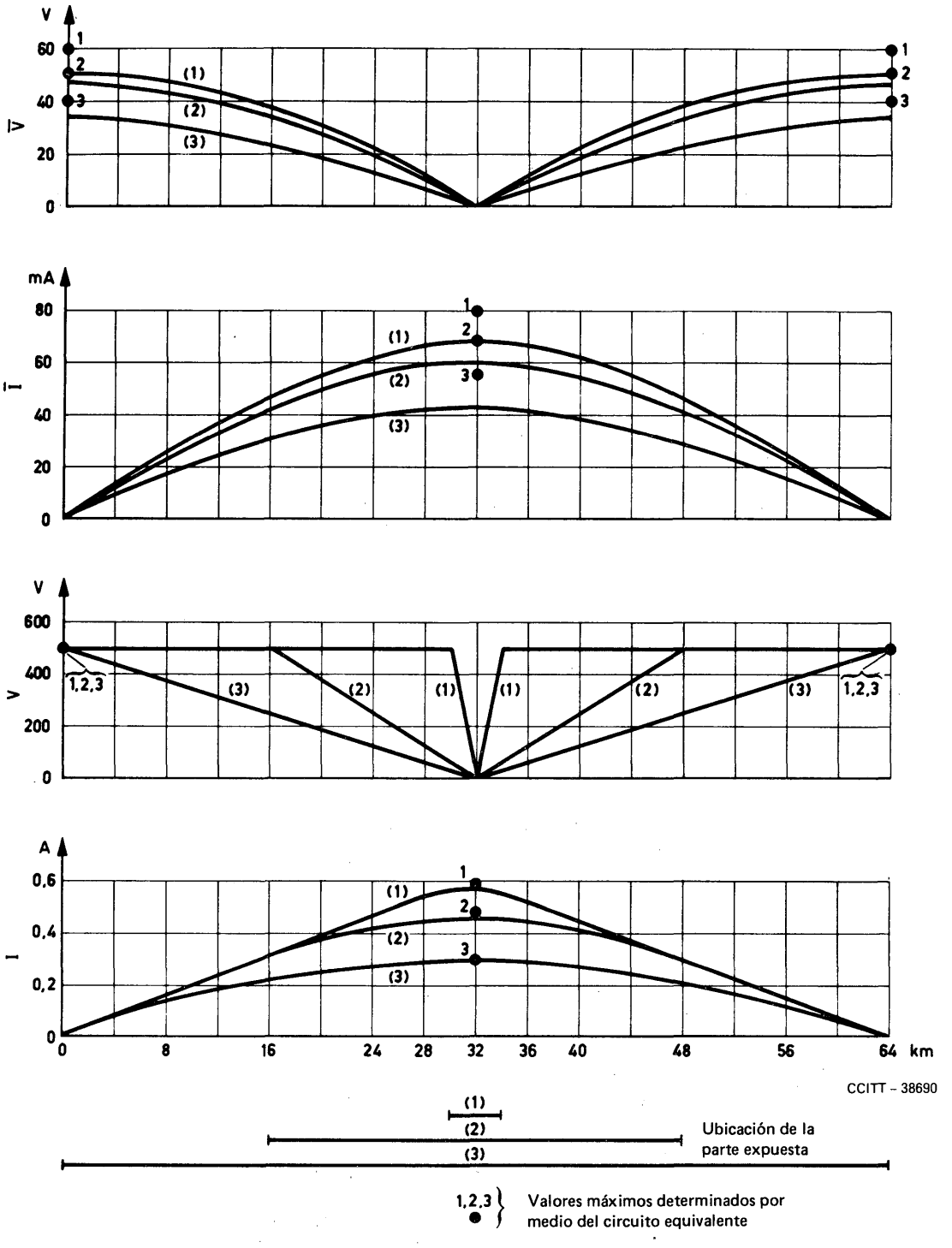


FIGURA B-1/K.16

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)

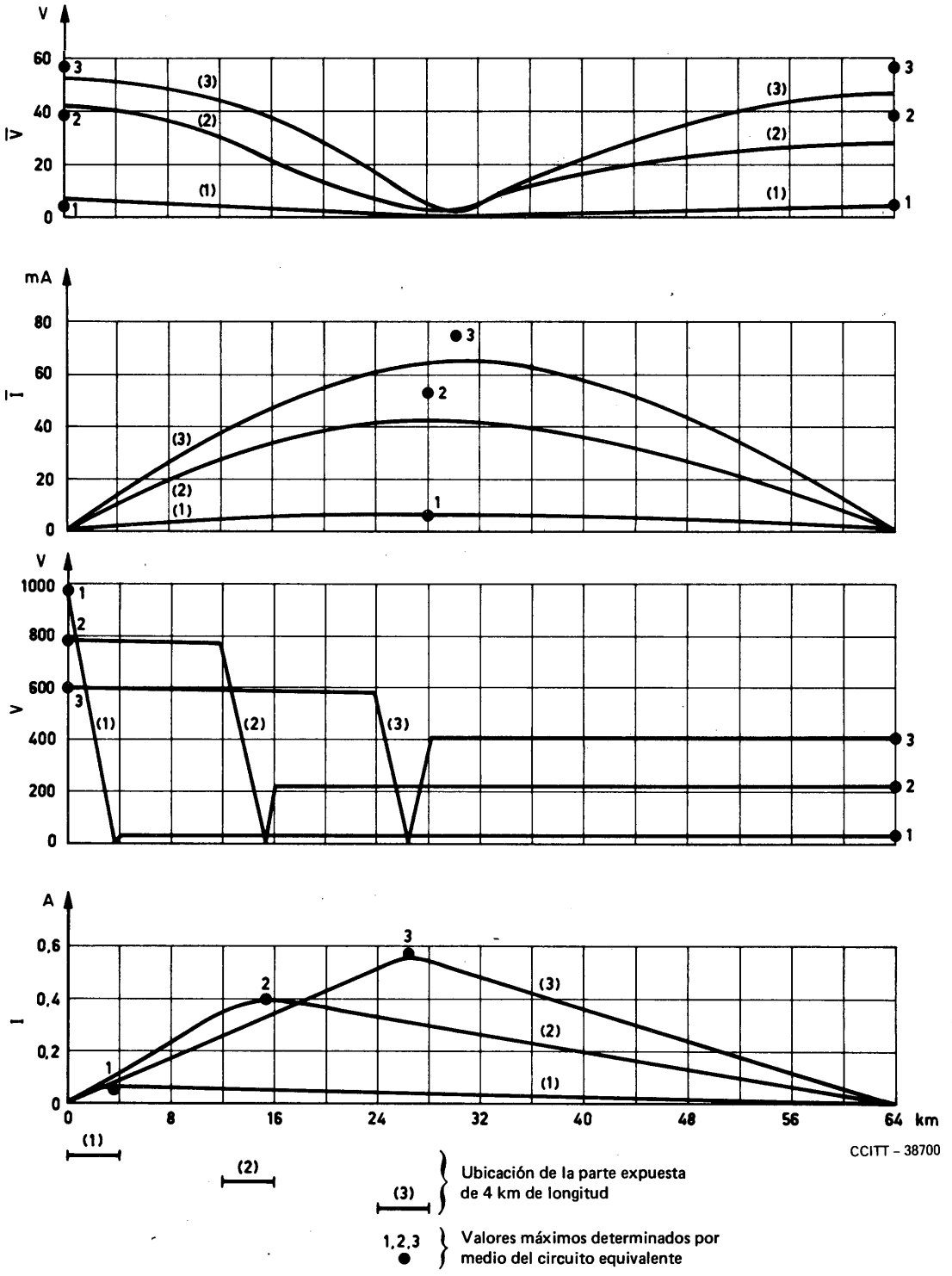


FIGURA B-2/K.16

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)

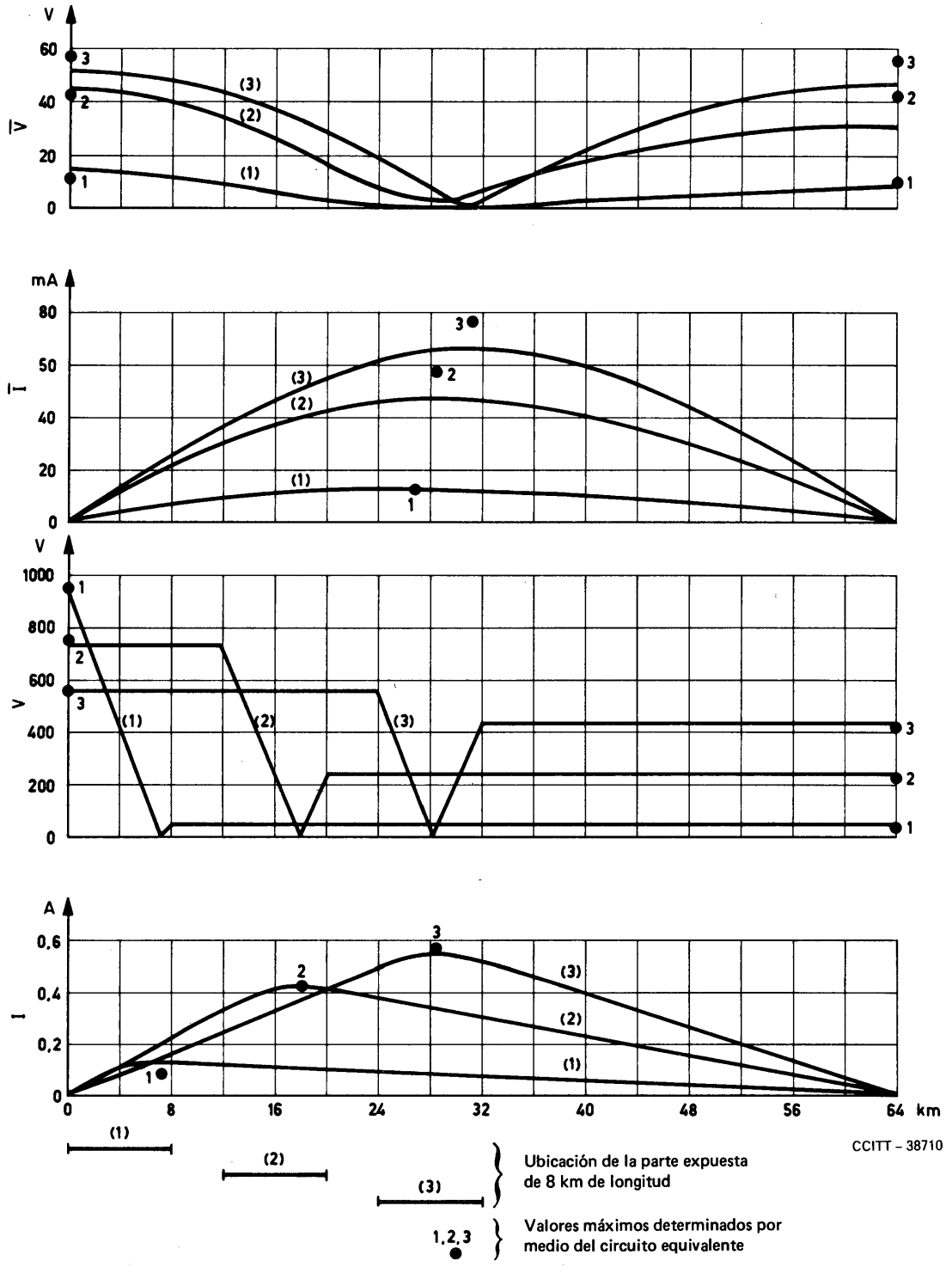


FIGURA B-3/K.16

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)

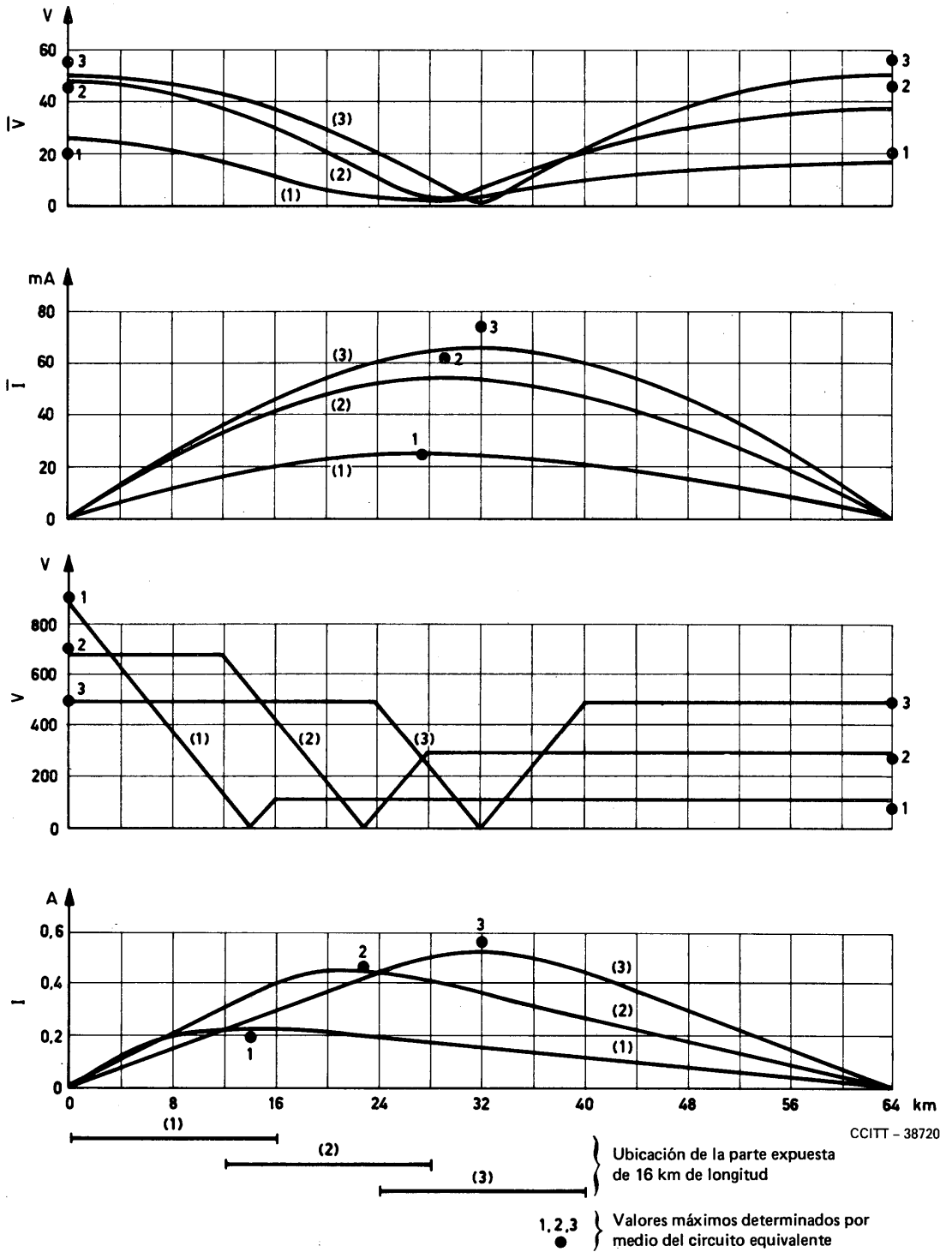


FIGURA B-4/K.16

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)

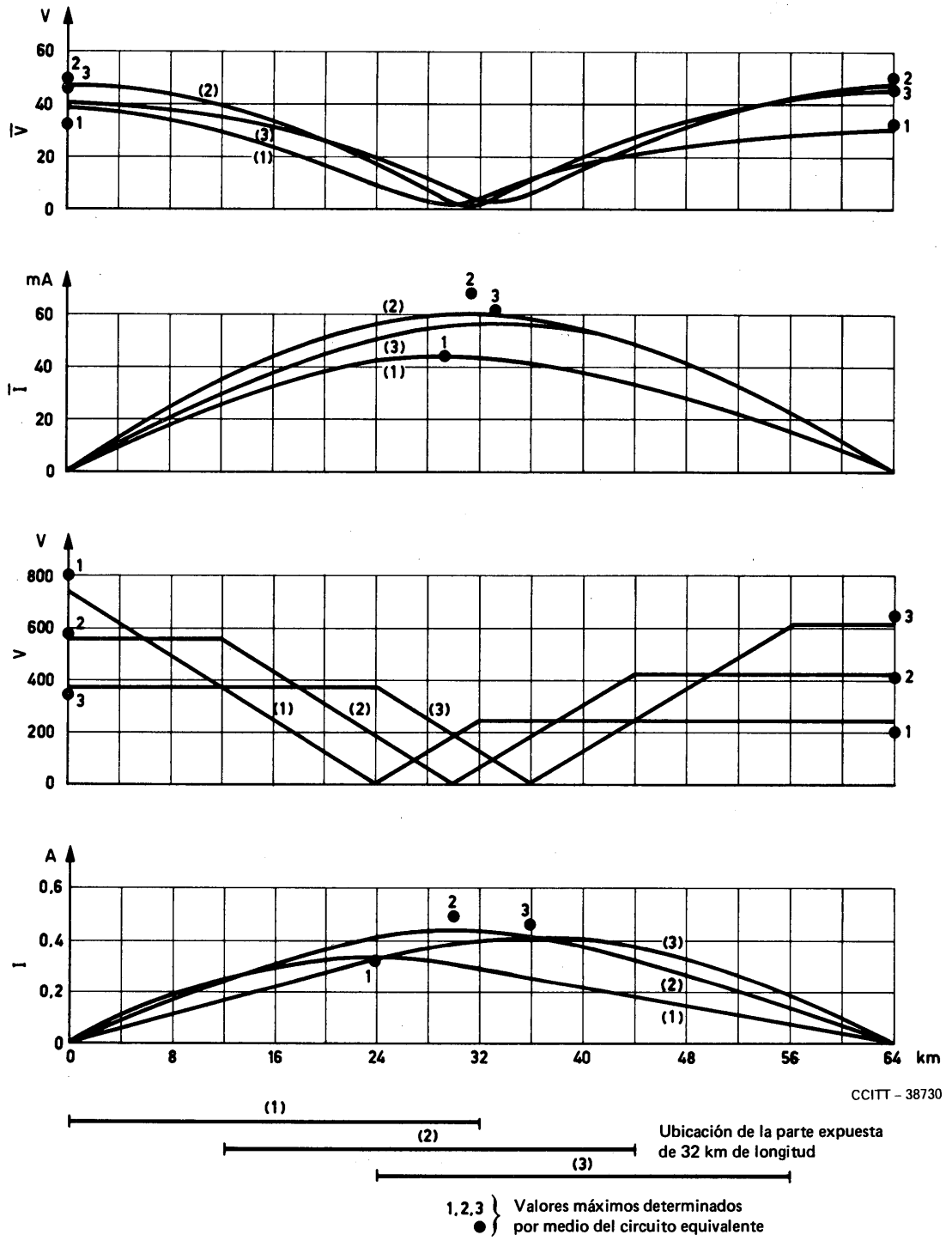


FIGURA B-5/K.16

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)

ANEXO C

(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 $\overline{C}$ 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.

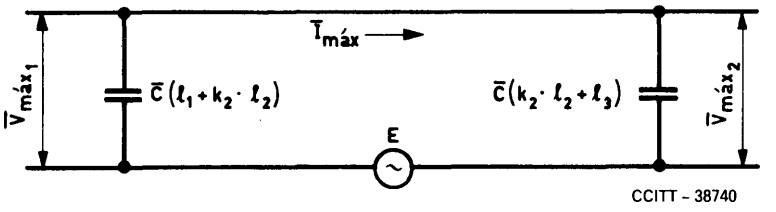


FIGURA C-1/K.16

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.

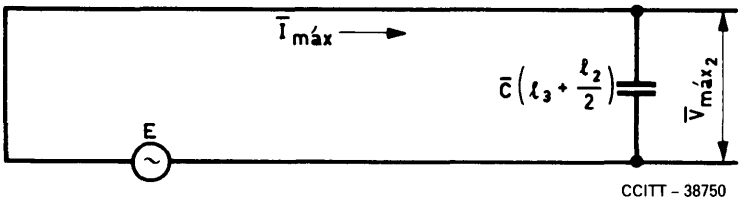


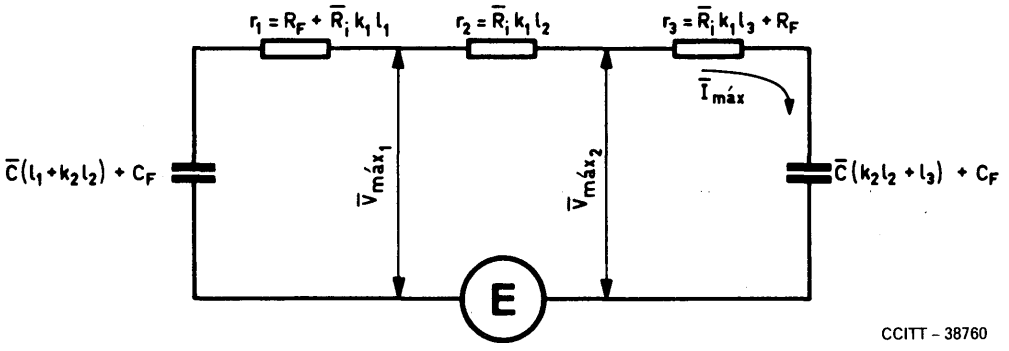
FIGURA C-2/K.16

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 $\overline{C}$ = 0,11 μF/km, R_i = 17 Ω/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.

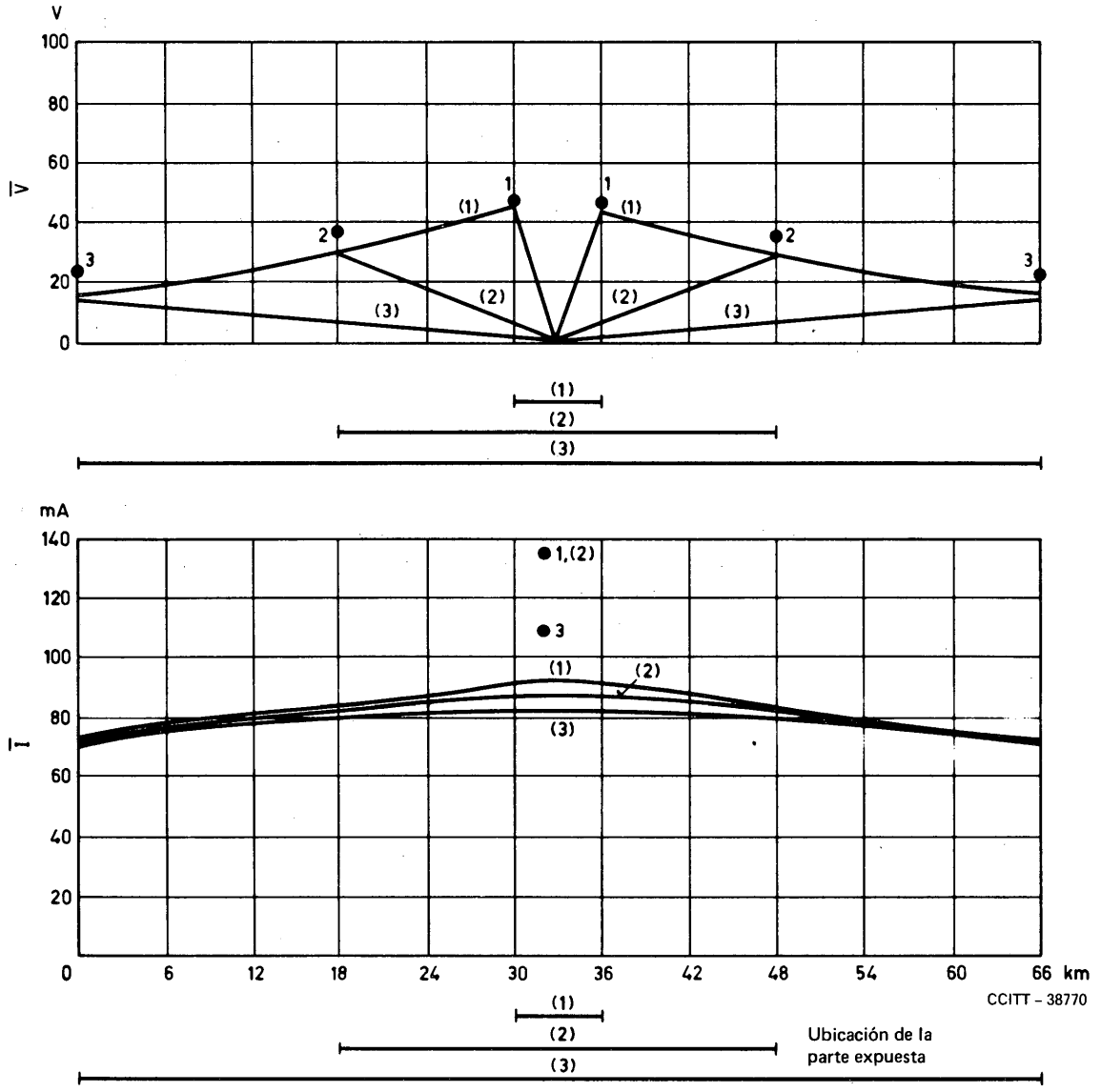


Observación – $\bar{R}_i$ es la resistencia por kilómetro del conductor interior más la resistencia de todos los filtros direccionales de los repetidores, expresada en valor de resistencia por kilómetro.

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 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.

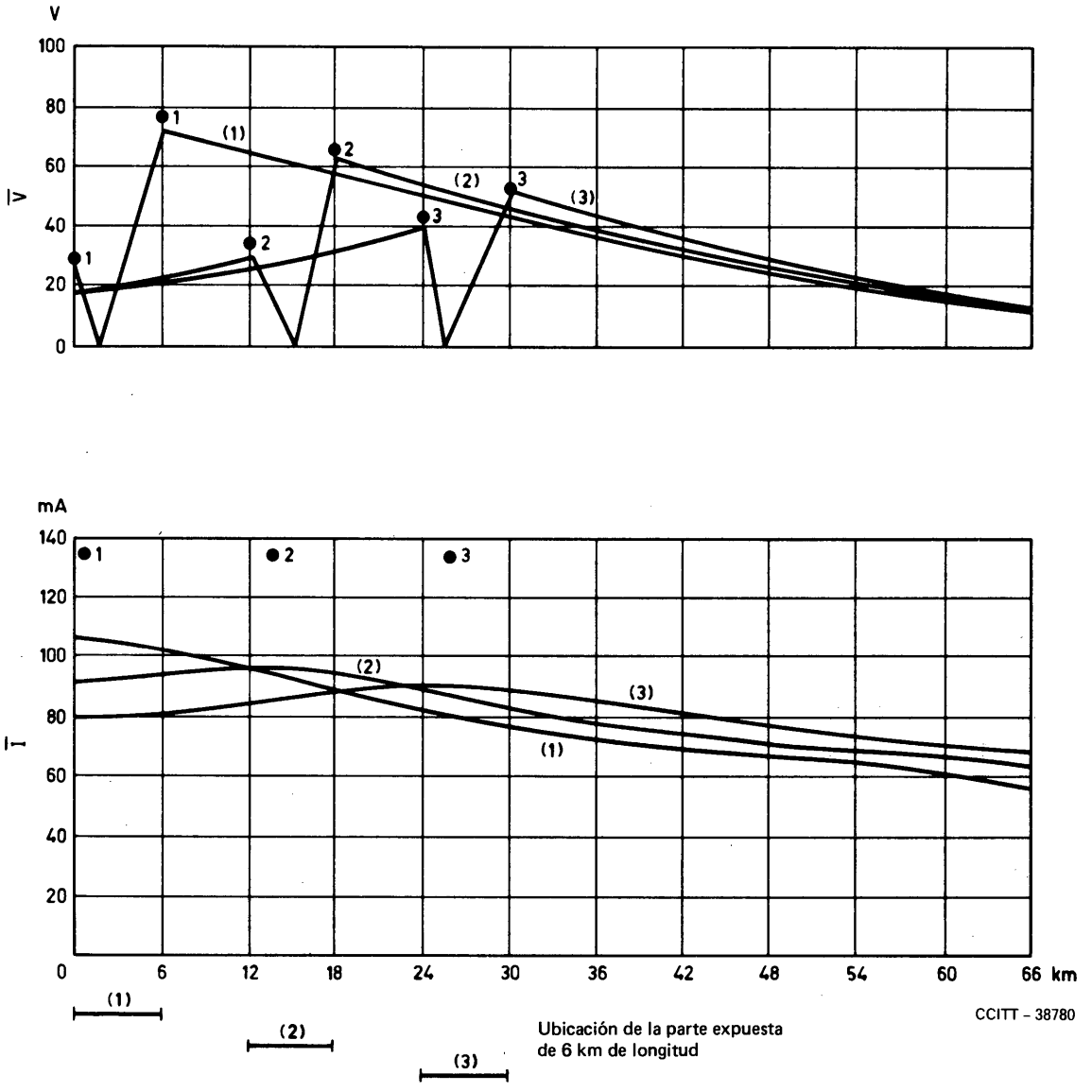


1, 2, 3 ● } Valores máximos determinados por medio del circuito equivalente

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)



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)

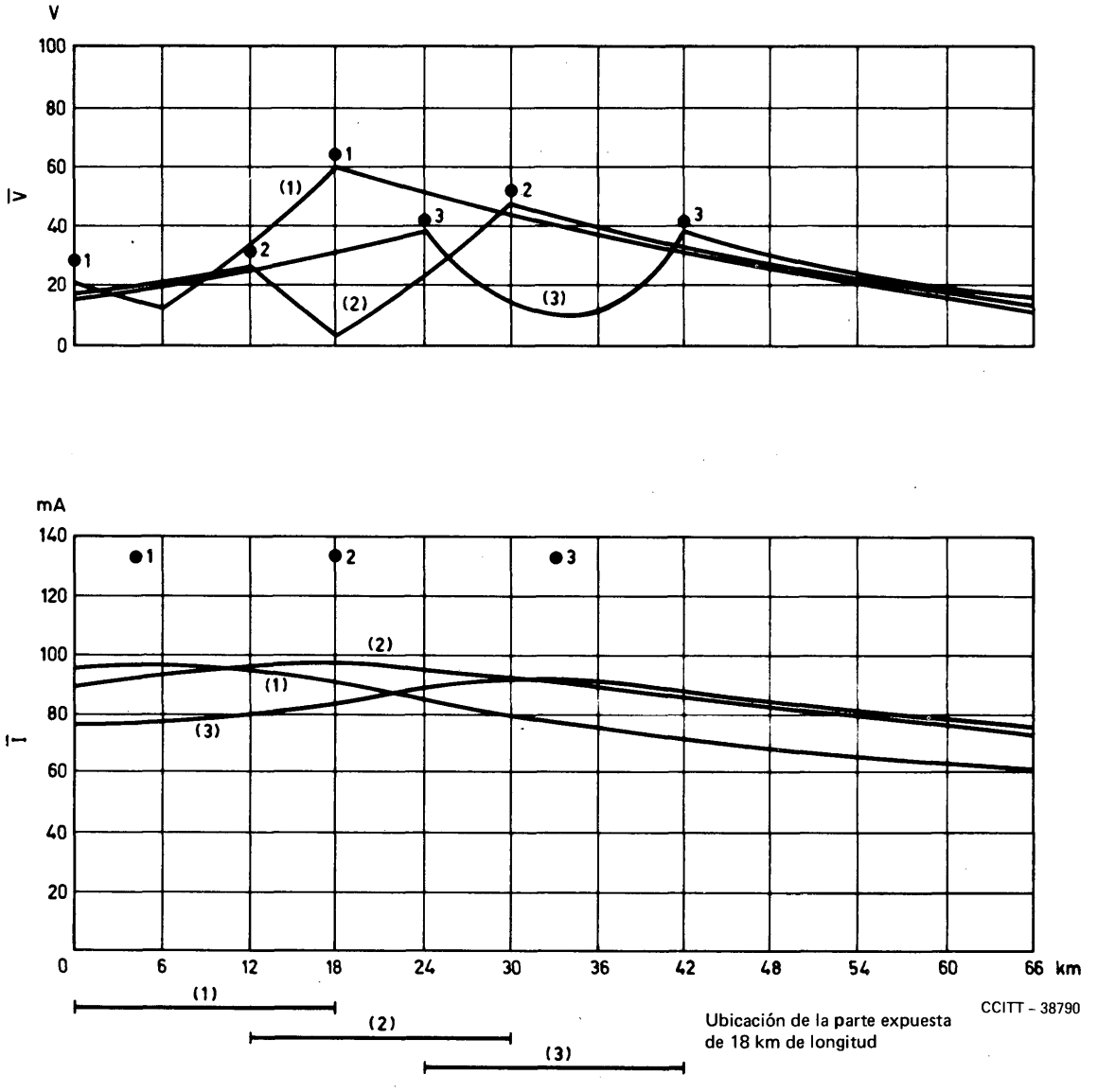
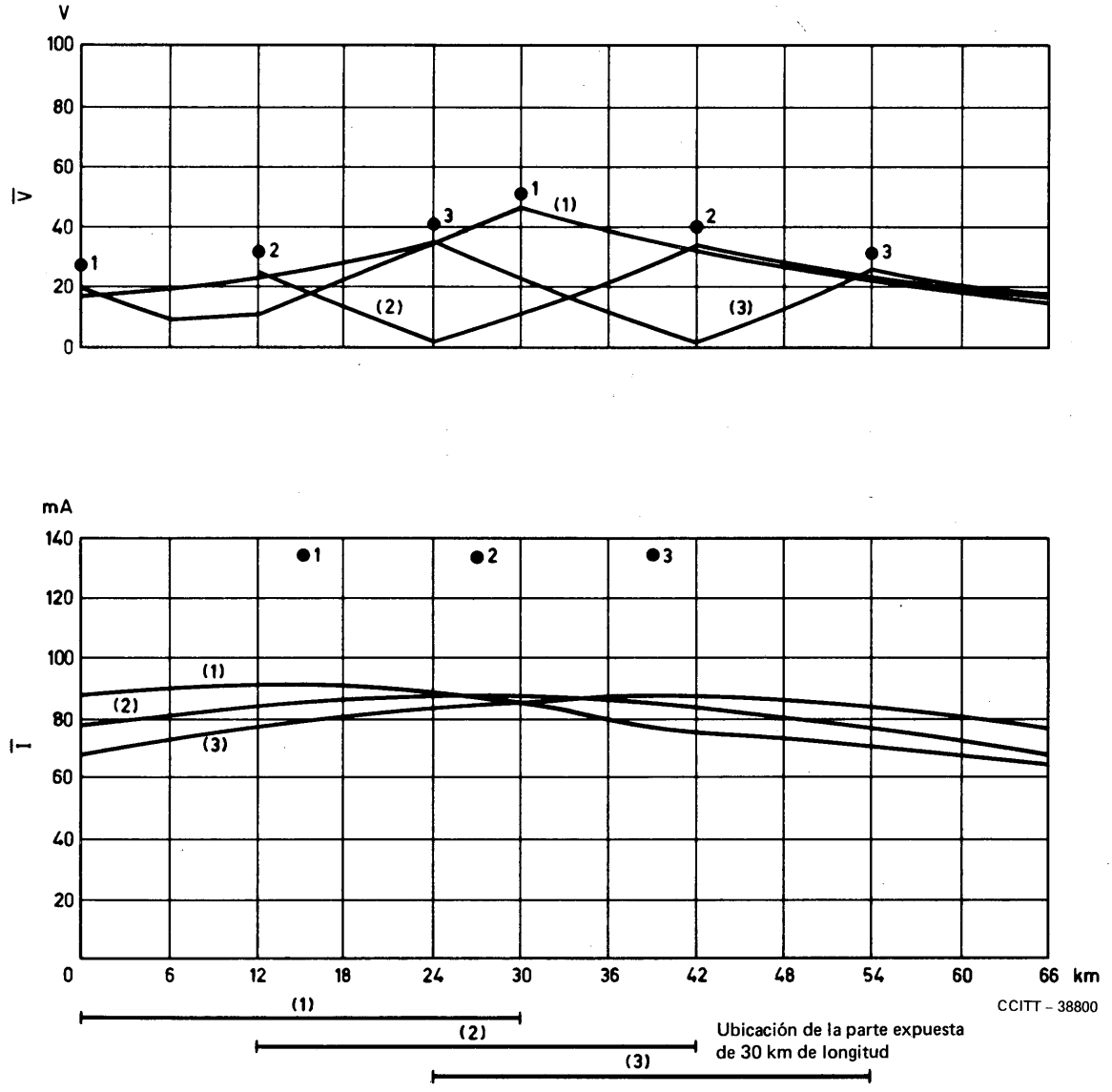


FIGURA C-6/K.16

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.° 2, pp. 255-266, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.° 2, pp. 254-263, 1965.)

[2] SALZMANN (W.), VOGEL (W.): Berechnungder Starkstrombeeinflüssung 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.° 12, pp. 205-211, 1965.

Bibliografía

KEMP (J.): Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning; *Electrical Communication*, Vol. 40, N.° 3, pp. 381-385, 1965. (Igual texto en francés en: *Revue des Télécommunications*, Vol. 40, N.° 3, pp. 398-402, 1965.

POPP (E.): Lightning Protection of Line Repeaters; *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169-174.

Recomendación K.17 [1), 2)] (Ginebra, 1976; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984)

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.

2) Las pruebas especificadas en la Recomendación K.17 pueden también aplicarse de manera similar a los equipos terminales, por ejemplo, repetidores con alimentación local, filtros de separación de potencia, equipo de telealimentación, todos ellos afectados del mismo modo que los repetidores intermedios.

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.

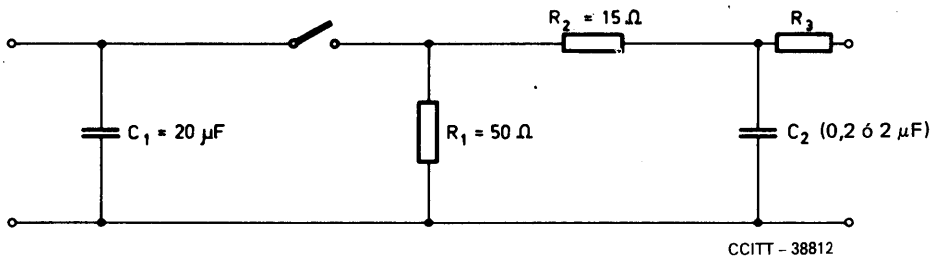


FIGURA 1/K.17

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

	Repetidores para pares coaxiales de diámetro ⩾ 1,2/4,4 mm				Repetidores para pares simétricos				Repetidores para pares microcoaxiales (0,7/2,9 mm)			
	Pruebas de prototipo		Pruebas de aceptación		Pruebas de prototipo		Pruebas de aceptación		Pruebas de prototipo		Pruebas de acceptación	
	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 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF	0,2 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF	0,2 µF	0,2 µF	2 µF	2 µF
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).

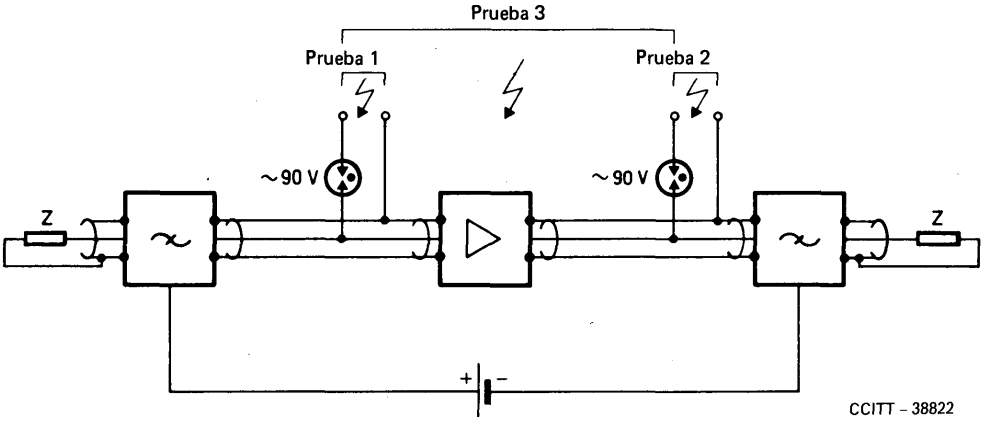
c) Puede introducirse una resistencia R_3 (0-2,5 ohmios) para evitar descargas oscilatorias. Su valor puede ser superior a 2,5 ohmios si se ajustan C_2 y R_2 para mantener la forma de onda en condiciones de carga.

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.

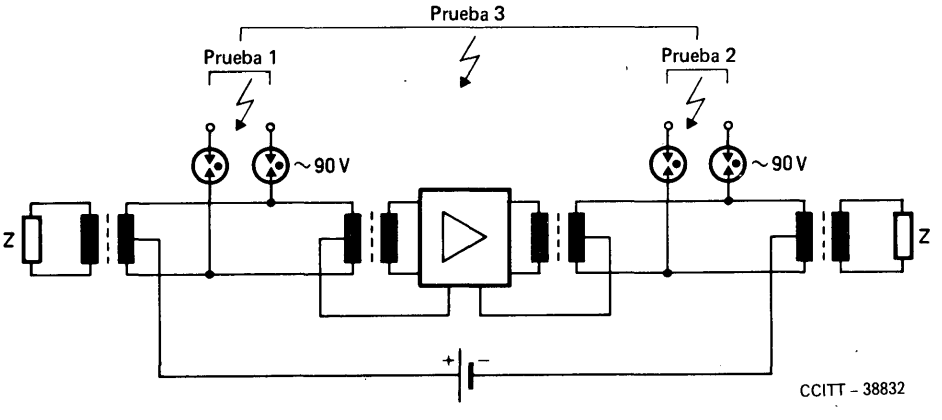
Puede ser útil en estas mediciones el circuito representado en la figura 2/K.17 para pares coaxiales, y en la figura 3/K.17 para pares simétricos. Para acoplar el generador de impulsos al repetidor, pueden utilizarse descargadores con una tensión de formación de arco de aproximadamente 90 V, como se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



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



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.

Si el esfuerzo adicional de la aplicación de telealimentación es despreciable, ésta no debe aplicarse durante las pruebas especificadas en el § 2.2. Sin embargo, si este esfuerzo no es despreciable, debe simularse durante las pruebas con corriente alterna el máximo nivel de esfuerzo de la telealimentación.

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 kV [1)]].

---

1) 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 kV [1] 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 alterna* [2]

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.

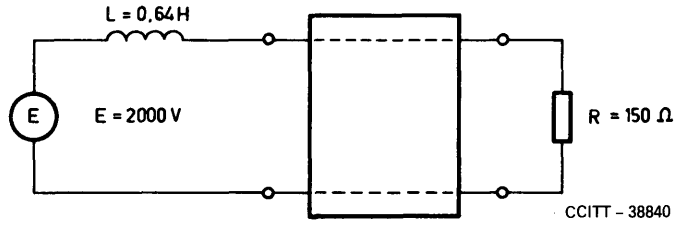


FIGURA 4/K.17

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.

---

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

[2] 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*, 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 (Ginebra, 1980; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984)

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 las 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:

$$V_2(0)\ \text{dB}\ [\approx V_2(l)] = 20 \log_{10} V_2(0)$$

$$= 20 \log_{10} \frac{PE_v (\cos \theta)\ Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300 \qquad (2\text{-}1)$$

donde

$$l \geqslant \frac{1{,}5\ \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \qquad (2\text{-}2)$$

$$20\ \Omega < |\ Z_{1R}\ |, |\ Z_{1L}\ | \leqslant |\ Z_{01}\ | \qquad (2\text{-}3)$$

$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$

$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3}$ (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

$$l \geqslant \frac{1{,}5\ \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

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].

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

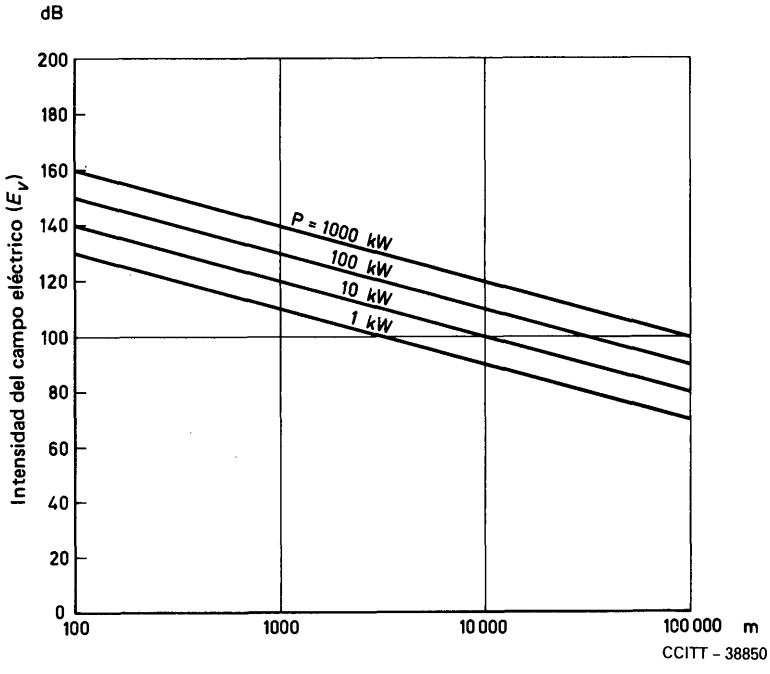
donde

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.



Distancia a la estación radioeléctrica (r)

Observación – E_v viene en dB (0 dB = 1 μV/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:

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

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

Además, utilizando θ = a 0° como valor más desfavorable, se obtiene:

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

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

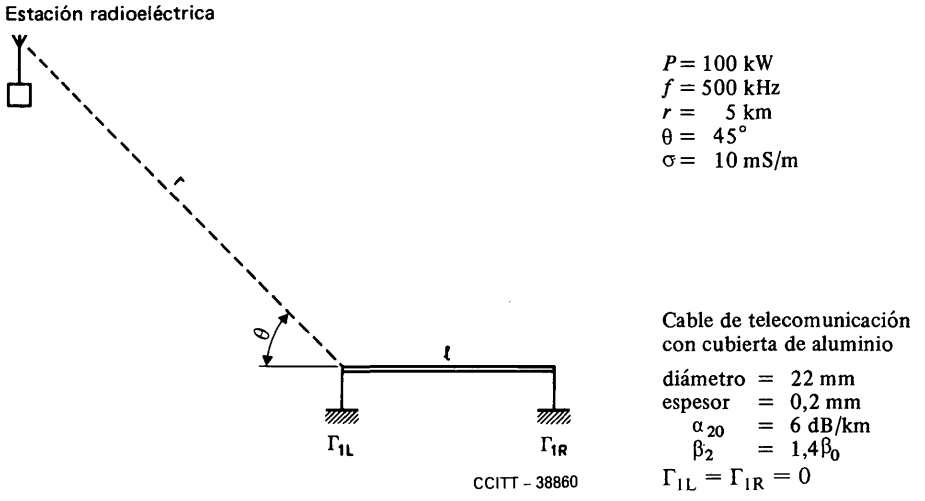


FIGURA 2/K.18

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.

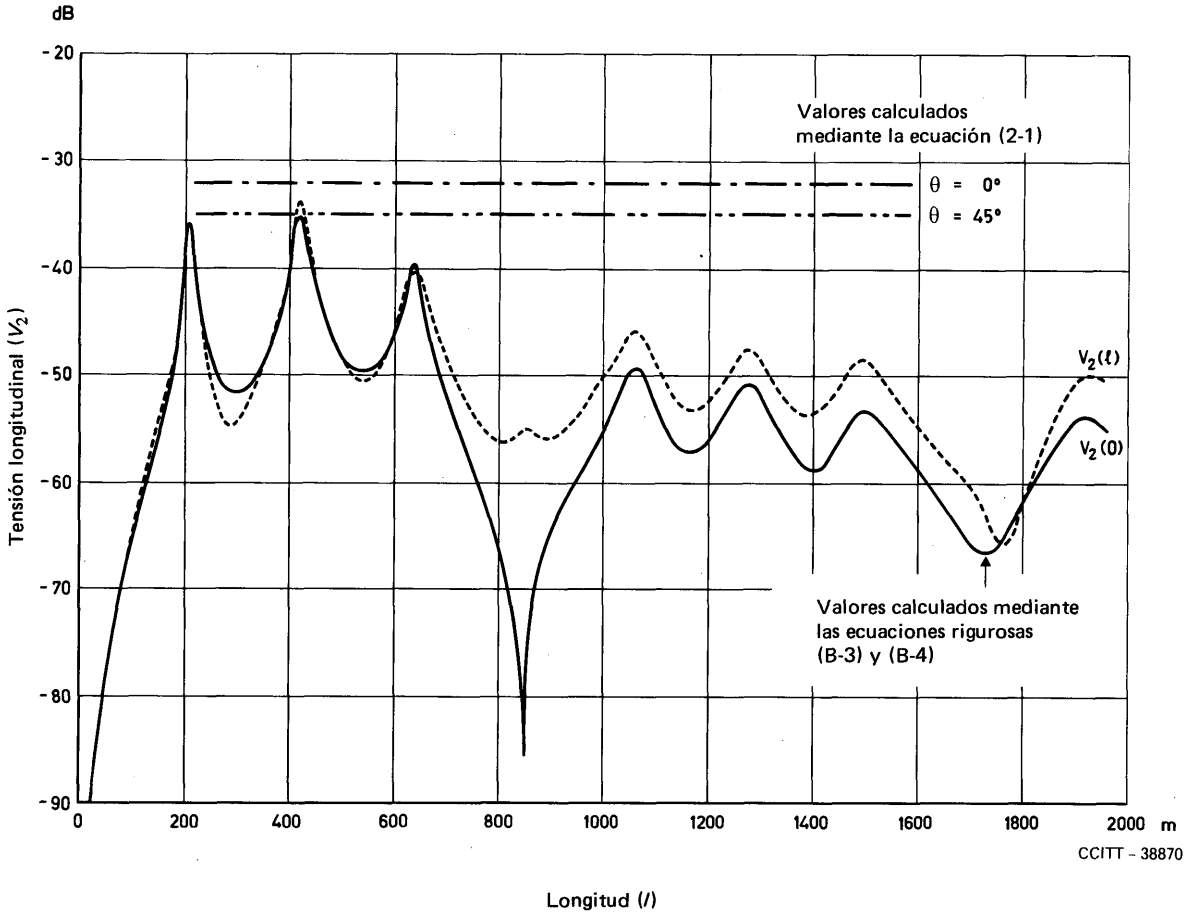


FIGURA 3/K.18

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)]

$V = -35 - 40$ dB $= -75$ 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 µF 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 preacentuación 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:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r - j\,\dfrac{\sigma}{\omega\,\varepsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega\,\varepsilon_0}{\sigma}} \qquad \text{(A-1)}$$

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:

$$Z_K = \frac{Kt}{\text{senh } Kt} \cdot R_{dc} \qquad \Omega/m \qquad \text{(A-2)}$$

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);

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

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

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

$\Gamma_{2R} = \dfrac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}}$ 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 $x = l$.

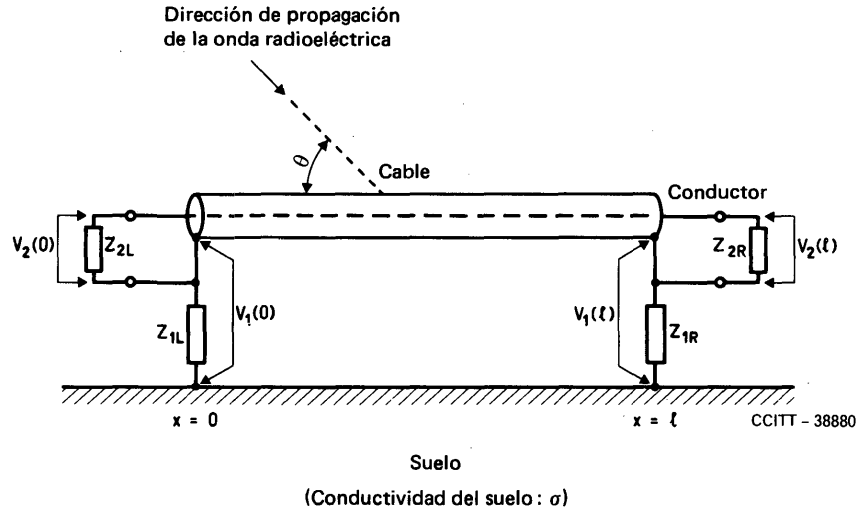


FIGURA A-1/K.18

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:

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

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

$$V_1(l) = V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l)$$

$$V_{10}(l) = \frac{PE_V \cos\theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos\theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta}$$

$$V_{1L}(l) = \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l}\left[1 - \Gamma_{1R}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \qquad \text{(B-2)}$$

$$V_{1R}(l) = \frac{-\Gamma_{1R}\left[1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}\right]}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)$$

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:

$$V_2(0) = V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0)$$

$$V_{20}(0) = -\frac{PE_V(\cos\theta)\, Z_K}{4\, Z_{01}} \left[\left\{\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta}\right\} \cdot \right.$$

$$\cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_2 + j\beta_0 \cos\theta} + \left\{-\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \cdot \right.$$

$$\cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos\theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right.$$

$$\cdot \left.\left.\frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta}\right)\right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{-\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \right. \qquad \text{(B-3)}$$

$$+ \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L}\Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \right.$$

$$\left.\left.\left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos\theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta}\right)\right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1}\right]$$

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

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

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

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

$$V_{20}(l) = \frac{PE_V \cos\theta\, Z_K}{4\, Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} \right\} \cdot \right.$$

$$\cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos\theta} e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} + \left\{ - \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} + \right.$$

$$+ \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} \cdot \right.$$

$$\left. \left. \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)\, l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \qquad \text{(B-4)}$$

$$+ \left\{ - \frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}\, e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L}\, \Gamma_{1R}{}^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right.$$

$$\left. \left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos\theta} + \Gamma_{1R}\, e^{-j\beta_0 \cos\theta\, l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta)\, l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos\theta} \right) \right\} \cdot$$

$$\left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)\, l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \right]$$

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

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

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 dB/km $\leqslant \alpha_{20} \leqslant$ 30 dB/km, 1,2 $\beta_0 \leqslant \beta_2 \leqslant 3\ \beta_0$, 500 kHz $\leqslant f \leqslant$ 1,6 MHz, 10 mm $\leqslant d \leqslant$ 50 mm, 0° $\leqslant \theta \leqslant$ 90°, 0,1 mS/m $\leqslant \sigma \leqslant$ 500 mS/m y $-1 \leqslant \Gamma \leqslant 1$. 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 $\Gamma_1 \geqslant 0$ porque $|Z_1| \leqslant Z_{01}$ 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.

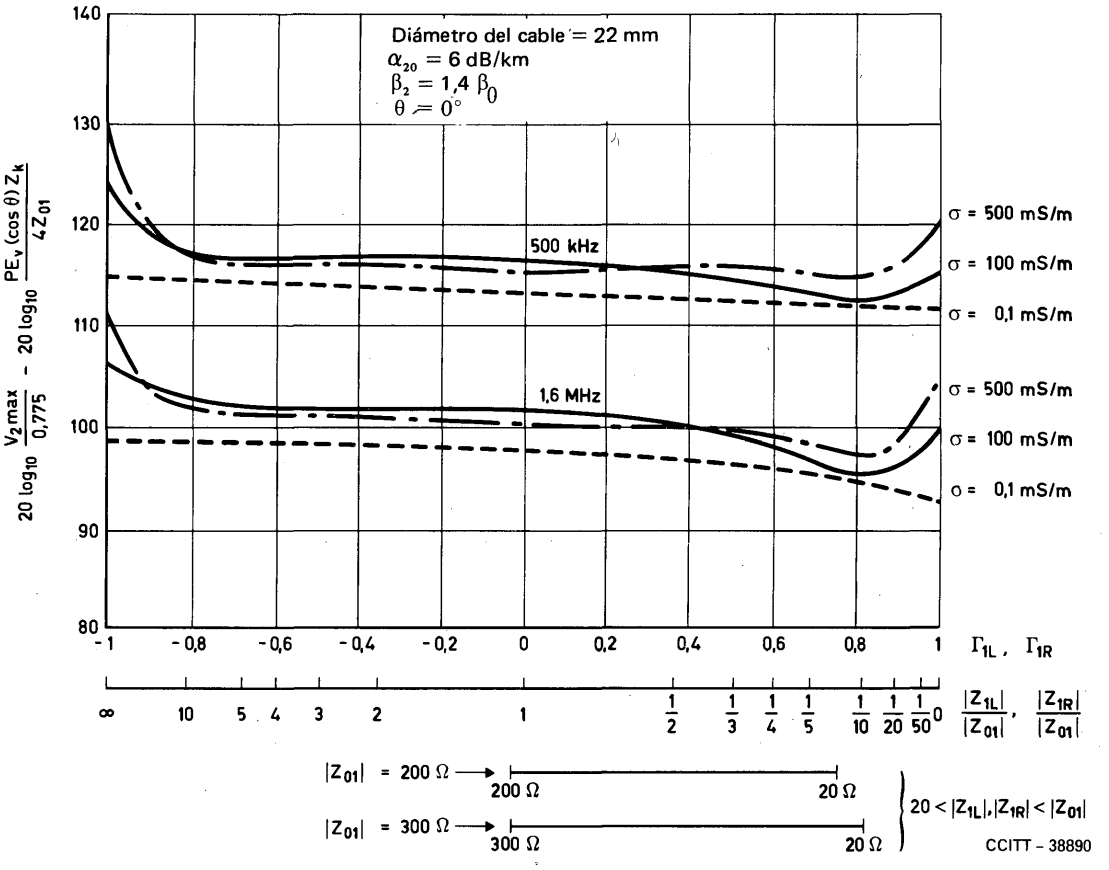


FIGURA C-1/K.18

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

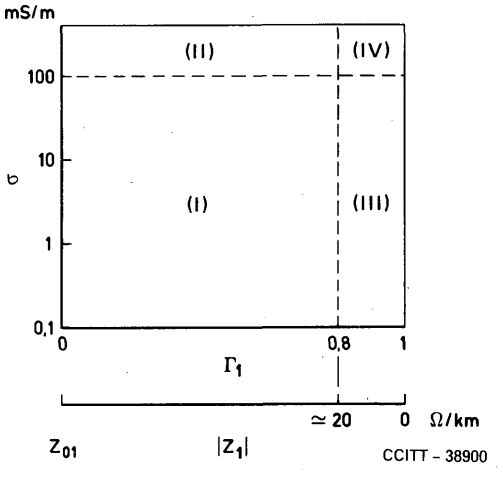


FIGURA C-2/K.18

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)	±5 dB
(II)	(caso raro)	±8 dB
(III)	(caso raro)	de −5 a +15 dB
(IV)	(caso raro)	de −5 a +23 dB

ANEXO D

(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).

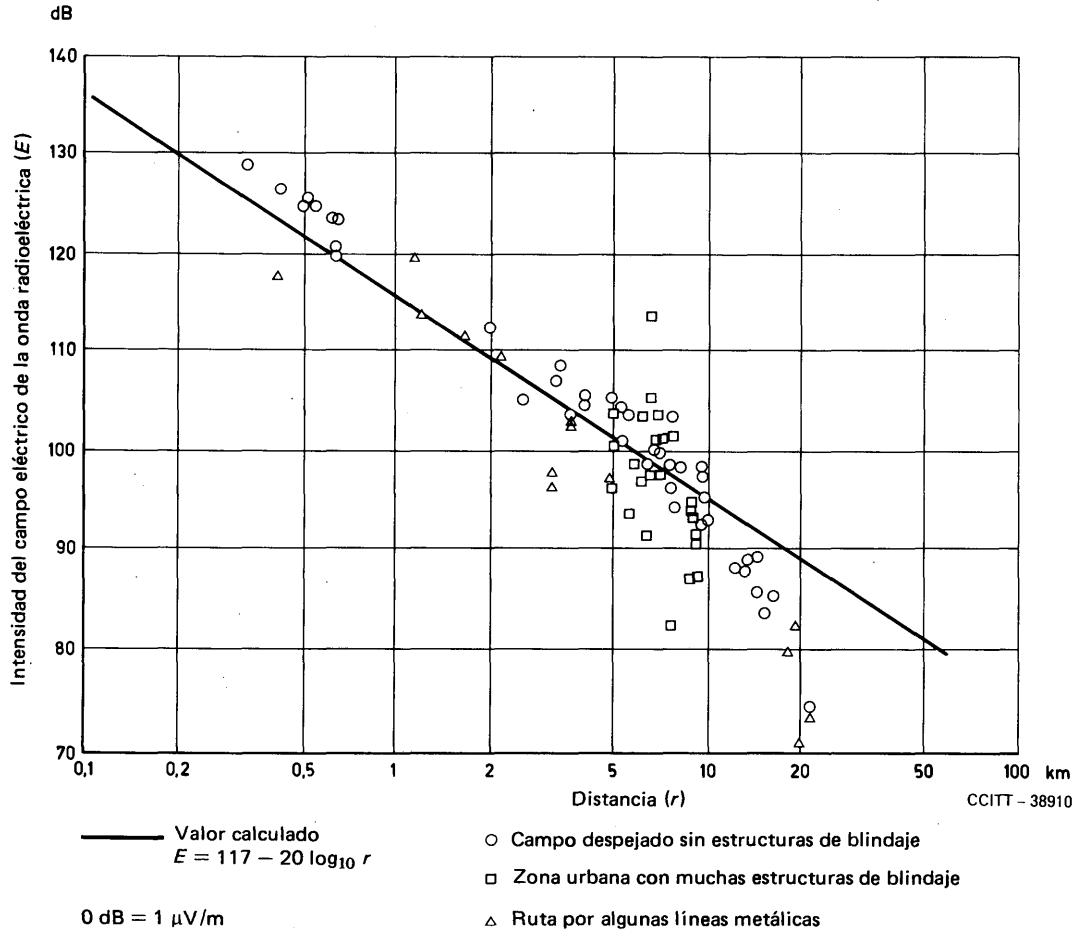


FIGURA D-1/K.18

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

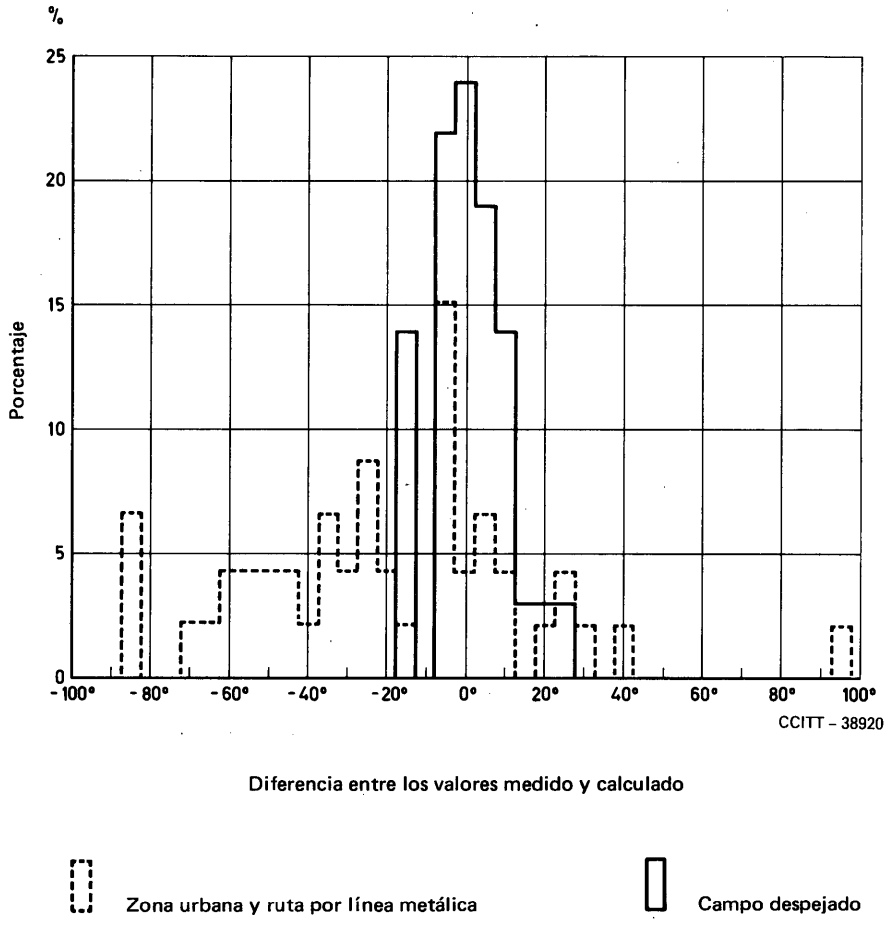


FIGURA D-2/K.18

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_2 y la tensión transversal V ($\lambda = V - V_2$ dB).

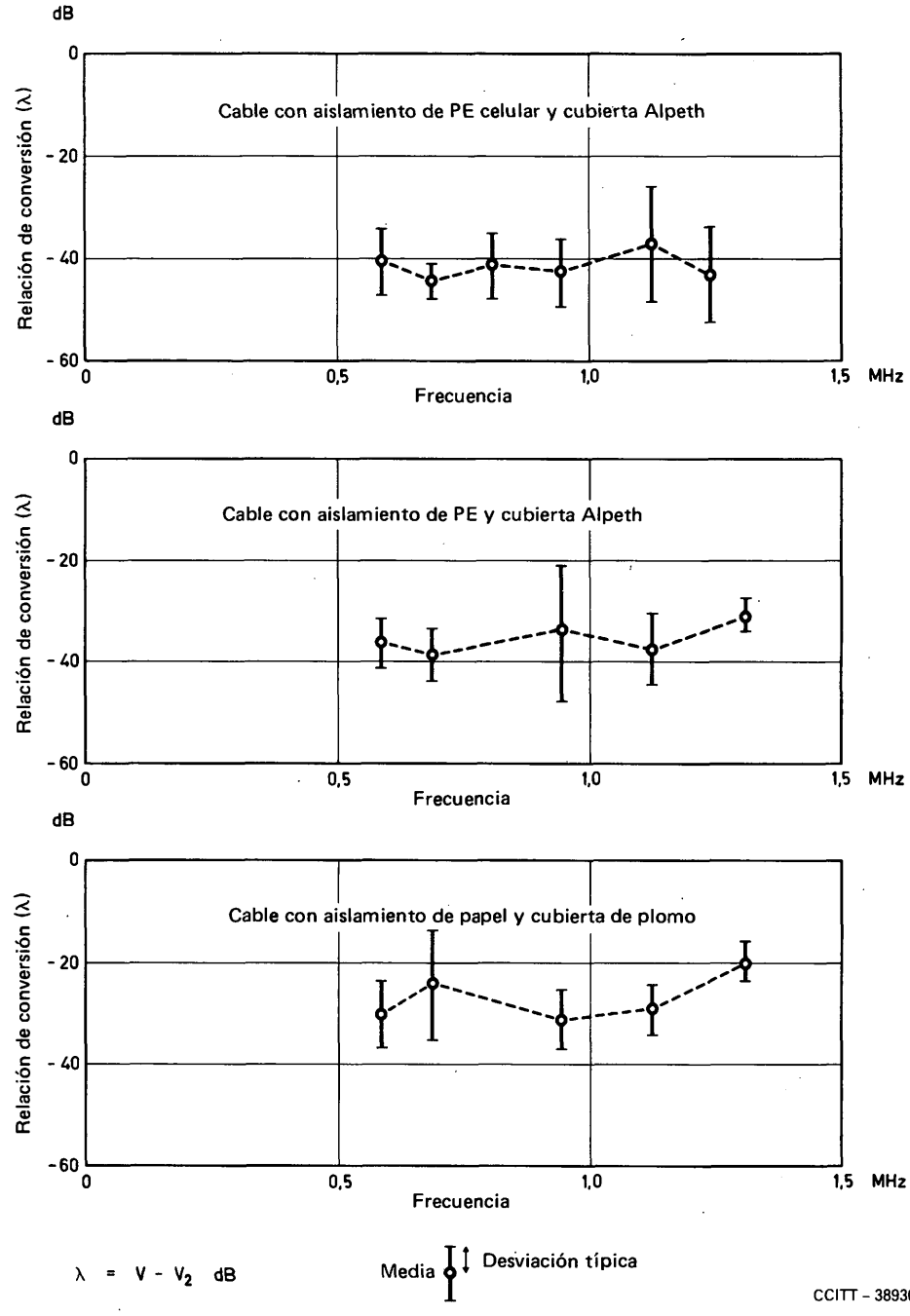


FIGURA E-1/K.18

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				
Circuito de frecuencias vocales	Ondas kilométricas y hectométricas (radiodifusión, principalmente)	Varias decenas de kW	En un radio de 5 km en torno a la estación radioeléctrica (varios V/m)	– 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	– 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
Circuito de alta frecuencia p.e. de transmisión por portadoras	Ondas kilométricas y hectométricas (principalmente hectométricas)	Varios kW	– En el caso de interferencia al sistema de portadoras de abonado, se han comunicado hasta casi 1000 km (0,03-1,8 V/m)	– 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)	– 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 admitancia del par
Calentamiento por radiofrecuencias	Ondas hectométricas (radiodifusión)	–	En las cercanías de la antena de la estación radioeléctrica	– Hilo desnudo – Par de acometida	Quemaduras causadas por radiofrecuencia	– Inserción de condensadores entre los conductores y tierra

ANEXO G

(a la Recomendación K.18)

Interferencias causadas por las ondas radioeléctricas en los cables coaxiales de las estaciones de repetidores y medidas correctivas

G.1 *Interferencias y sistemas de transmisión afectados*

Se han experimentado en sistemas de transmisión por portadoras interferencias causadas por emisiones radioeléctricas en las estaciones de repetidores.

Cuando la frecuencia de la onda radioeléctrica inducida está dentro de la banda de frecuencias de transmisión, causa interferencia de un solo tono o ruido ininteligible en el canal telefónico demodulado. La interferencia se debe a las corrientes inducidas en los conductores exteriores o en pantallas de los cables coaxiales de la estación de repetidores.

Las frecuencias interferentes de las ondas radioeléctricas son principalmente las correspondientes a las ondas hectométricas y decamétricas (y en concreto, del orden de 1 a 15 MHz).

G.2 *Intensidad del campo eléctrico*

Se producen interferencias por inducción radioeléctrica cuando la intensidad del campo eléctrico es superior a 100 dBμV/m fuera del edificio de la estación o a 80 dBμV/m dentro del edificio de la estación.

El grado de atenuación producido por el edificio depende de su tipo de construcción. En el caso de un edificio de hormigón, por ejemplo, la atenuación puede ser de 20 a 30 dB, en la banda de 1 a 15 MHz.

La intensidad del campo eléctrico en el edificio no es homogénea, y se han observado grandes variaciones, de unos 20 a 30 dB.

G.3 *Medidas correctivas*

Una de las medidas de protección más eficaces es el mejoramiento del apantallamiento de los cables coaxiales. La eficacia del apantallamiento del cable coaxial depende de su impedancia de transferencia (Z_T) y es útil la adopción de un cable coaxial con una impedancia de transferencia menor. Por ejemplo, se han utilizado cables coaxiales con blindaje de μ-metal (por ejemplo: $Z_T \approx 0{,}01$ mΩ/m a 1 MHz) y cables coaxiales de trenzado triple (apantallados) (por ejemplo: $Z_T \approx 0{,}1$ mΩ/m a 1 MHz). Por ejemplo, puede obtenerse una reducción de 15 a 20 dB sustituyendo un cable coaxial de trenzado doble por uno de trenzado triple.

También es conveniente utilizar una conexión de baja impedancia de transferencia entre el cable de la estación y el equipo, así como la adopción de buenas instalaciones de puesta a 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.

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.

Recomendación K.20 (Málaga-Torremolinos, 1984)

INMUNIDAD DEL EQUIPO DE CONMUTACIÓN DE TELECOMUNICACIONES CONTRA LAS SOBRETENSIONES Y SOBREINTENSIDADES

1 Consideraciones generales

La presente Recomendación tiene por objeto establecer criterios y métodos de prueba fundamentales relativos a la inmunidad de los equipos de conmutación de telecomunicaciones contra las sobretensiones y sobreintensidades. Conviene leerla conjuntamente con el Manual del CCITT *Protección contra el rayo de las líneas e instalaciones de telecomunicación* y la Recomendación K.11, que tratan de los aspectos generales económicos y técnicos de la protección. Las recomendaciones formuladas pueden variar en función de circunstancias locales particulares y de la evolución técnica.

2 Alcance

La Recomendación se refiere a centrales telefónicas y centros similares de conmutación de telecomunicaciones, y trata principalmente de las condiciones de pruebas que deben aplicarse a puntos destinados a conexiones de líneas de abonado a dos hilos. Los accesos con circuitos más complejos o con tráfico más concentrado (como enlaces o circuitos multicanales) pueden comprobarse bien de conformidad con la presente Recomendación o de conformidad con otras Recomendaciones como las K.15 y K.17, según convenga.

Tales pruebas constituyen pruebas tipo y, aunque sean aplicables a un centro de conmutación completo, se reconoce que pueden ser aplicadas a elementos individuales del equipo durante las labores de desarrollo y diseño. Al proceder a las pruebas, es necesario tener en cuenta toda condición de conmutación, ya sea en la unidad que se está comprobando o en cualquiera otra, que pueda influir en los resultados.

3 Condiciones de sobretensión y sobreintensidad

Los aspectos de las sobretensiones y las sobreintensidades de que trata la presente Recomendación son los siguientes:

- crestas causadas por descargas de rayos en las líneas o en sus proximidades (es posible que los equipos que se ajustan a la presente Recomendación no resistan necesariamente las descargas directas del rayo importantes);
- inducciones de corta duración por tensiones alternas procedentes de las líneas adyacentes de distribución de energía eléctrica o de las redes de ferrocarriles, normalmente cuando en estas líneas o redes se producen faltas;
- contactos directos entre las líneas de telecomunicación y las de energía, generalmente de baja tensión.

Se reconoce que, en determinadas circunstancias, pueden plantearse problemas si las sobretensiones o las sobreintensidades se producen simultáneamente en una serie de líneas y dan lugar a grandes corrientes en cableados o componentes comunes. La presente Recomendación no abarca tales casos. No abarca tampoco los aspectos relativos a la elevación del potencial de tierra que son actualmente objeto de estudio en el CCITT.

4 Niveles de inmunidad

4.1 Sólo se consideran dos niveles de inmunidad: un nivel bajo apropiado a ambientes no expuestos donde las sobretensiones y sobreintensidades son bajas, y un nivel alto para ambientes más expuestos. Se tiene en cuenta el hecho de que en los medios más expuestos, los medios de protección pueden instalarse en el repartidor principal o en otro lugar fuera del equipo.

4.2 No quedan cubiertas las condiciones extremas. Es posible que en ambientes muy protegidos funcionen satisfactoriamente equipos con un grado de inmunidad inferior al especificado en la presente Recomendación. Por otra parte, un grado de inmunidad superior incluso al especificado puede ser necesario en ambientes excepcionalmente expuestos. Son posibles, asimismo, otras combinaciones de la inmunidad del equipo y la protección externa. Por ejemplo, es posible que ciertos equipos requieran protección incluso en ambientes no expuestos y que otros funcionen satisfactoriamente en ambientes expuestos sin protección externa. Aunque sólo se describen en la presente Recomendación dos categorías de inmunidad, éstas satisfacen en gran parte las necesidades actuales.

4.3 Corresponde a las Administraciones la clasificación del entorno de un determinado centro de conmutación, habida cuenta de las consideraciones técnicas, económicas y de política comercial. La Recomendación K.11 contiene información para ayudar a tomar esta decisión.

4.4 Las condiciones de prueba y las tensiones indicadas en el cuadro 1/K.20 reflejan las condiciones que cabe esperar en líneas situadas en ambientes no expuestos.

4.5 Las condiciones de prueba y las tensiones indicadas en el cuadro 2/K.20 simulan los efectos de un ambiente expuesto sobre equipos cuyos dispositivos de protección están en el repartidor principal, y constituyen requisitos adicionales para garantizar la compatibilidad con dispositivos externos de protección y un funcionamiento apropiado en el ambiente más desfavorable. Pueden producirse muy bien tensiones superiores en las líneas, pero gracias al funcionamiento de la protección del repartidor principal, es posible que los efectos de dichas tensiones en el equipo no sean más graves.

4.6 Los equipos que satisfacen las condiciones para un ambiente expuesto pueden utilizarse en cualquier otro ambiente, pero aquellos que satisfacen únicamente las condiciones para un ambiente no expuesto sólo debieran utilizarse en este tipo de ambiente.

5 Demarcación del equipo de conmutación

Las diferentes características de los distintos tipos de equipos, hacen necesario considerar cada central como una «caja negra» con tres terminales A, B y tierra. Probablemente, el equipo ha sido provisto ya de algunos dispositivos de protección situados bien en forma distribuida en las unidades de línea, etc., o conectados en sus terminales. Para los fines de estas pruebas, es de esperar que los fabricantes definan los límites de la «caja negra», y cualquiera de los dispositivos de protección que se incorporen habrán de considerarse como parte inmutable de la central.

6 Condiciones de las pruebas

Las condiciones siguientes son válidas para todas las pruebas mencionadas en el § 8.

6.1 Todas las pruebas son pruebas tipo.

6.2 Los terminales de entrada en que han de realizarse las pruebas del equipo deberán indicarse por el fabricante y señalarse con A, B y tierra.

6.3 El equipo deberá poder probarse en cualquier fase de funcionamiento de duración apreciable.

6.4 El equipo deberá superar las pruebas que figuran en el § 8, a cualquier temperatura y grado de humedad en que deba de ser utilizado.

6.5 Para las pruebas en la situación «expuesta», generalmente se protegen las líneas de abonado en el repartidor principal, con algunos dispositivos de protección contra descargas como son los descargadores de gas. Reconociendo que un dispositivo de este tipo puede ser necesario en la mayor parte de los casos para absorber altos impulsos de corriente y que el funcionamiento de estos sistemas de protección expone al equipo de la central de conmutación a otras condiciones modificadas, las características de los dispositivos externos de protección que han de utilizarse debieran ser objeto de acuerdo entre el suministrador de los equipos y la Administración. Debieran utilizarse dispositivos de protección que presenten características dentro de la gama acordada cuando se especifican esas características en el cuadro 2/K.20. Puede utilizarse una nueva serie de dispositivos de protección una vez ultimada cada serie de pruebas. De modo alternativo, algunas Administraciones pueden optar por omitir los dispositivos externos de protección, modificando en cambio las tensiones aplicadas y su duración, de modo que las condiciones aplicadas al equipo sean las que cabe esperar razonablemente que se produzcan dentro de las especificadas en el cuadro 2/K.20.

6.6 En cualquier caso, cuando se especifica una tensión máxima, deben efectuarse también pruebas a tensiones inferiores si ello se revela necesario para confirmar que el equipo resistirá cualquier tensión hasta el valor máximo especificado.

6.7 Cada prueba debe efectuarse el número de veces indicado en el cuadro correspondiente. El intervalo de tiempo entre repeticiones será de un minuto, y cuando se trate de pruebas con impulsos deberá invertirse la polaridad entre impulsos consecutivos.

6.8 Las pruebas de inducción debida a líneas de energía y de contactos con líneas de energía deben hacerse a las frecuencias empleadas en la red de c.a. o en los ferrocarriles electrificados del país en que se aplican.

7 Funcionamiento defectuoso o deterioros admisibles

Se definen dos niveles de funcionamiento defectuoso o de deterioro:

Criterio A – El equipo ha de soportar la prueba sin deterioro u otra perturbación (como las irregularidades del soporte lógico o el funcionamiento defectuoso de los dispositivos de protección contra averías) y ha de funcionar apropiadamente dentro de los límites especificados después de la prueba. (No es preciso que funcione correctamente durante la condición de prueba.) Si lo permite específicamente la Administración, la prueba puede dar lugar a que funcionen los fusibles u otros dispositivos que deberán ser sustituidos o restaurados antes de restablecer el funcionamiento normal.

Criterio B – Las pruebas no deben dar lugar a que se produzca un incendio en el equipo. Todo deterioro o funcionamiento defectuoso permanente que se produzca debe limitarse a un pequeño número de circuitos de interfaz de líneas externas.

Las condiciones que pueden dar lugar a que se aplique el criterio B se consideran tan poco probables que la protección completa contra las mismas no resulta económica.

8 Pruebas

8.1 *Consideraciones generales*

Los circuitos de pruebas utilizados en los tres casos de sobretensión y sobreintensidad son los siguientes:

figura 1/K.20: crestas causadas por descargas de rayos;

figura 2/K.20: inducción debida a líneas de energía;

figura 3/K.20: contactos con líneas de energía.

Observación – En el anexo A a la presente Recomendación, se exponen ciertas consideraciones que justifican las propuestas de pruebas. La respuesta del equipo a las crestas producidas por rayos, puede modificarse mediante la impedancia de entrada del equipo. Para explicar este efecto, en el anexo A figura un ejemplo en el que, para mayor claridad, se asignan valores a la impedancia de entrada, de forma que puedan compararse los niveles instantáneos de tensión en diversos puntos del circuito. Estos valores se indican sólo a título ilustrativo y no forman parte de la presente Recomendación.

8.2 *Ambientes no expuestos*

En el cuadro 1/K.20 se indica cómo se efectuarán las pruebas de los equipos que hayan de utilizarse sin protección exterior en ambientes no expuestos.

8.3 *Ambientes expuestos*

El equipo que haya de utilizarse en ambientes expuestos, deberá ser sometido a las pruebas descritas en los cuadros 1/K.20 y 2/K.20.

CUADRO 1/K.20

Condiciones de las pruebas y tensiones para ambientes no expuestos

N.º	Prueba	Entre	Circuito de prueba	Tensión máxima de prueba y duración	Número de pruebas	Criterios de aceptación
1	Simulación de crestas causadas por rayos	A y E con B puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte a)	$U_{c\ (máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	Véase el § 7, criterio A
		B y E con A puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte a)	$U_{c\ (máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	
		A + B y E	Figura 1/K.20, parte b)	$U_{c\ (máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	
2	Inducción procedente de líneas de energía	A + B y E	Figura 2/K.20 $R_1 = R_2 = 600\ \Omega$ S_2 abierto Se realizan las pruebas con el conmutador S_1 abierto y cerrado	$U_{ac\ (máx)}$ = 300 $V_{r.m.s.}$ 200 ms Véase la nota 2	5 para cada posición de S_1	Véase el § 7, criterio A
3	Contactos con líneas de energía	A + B y E	Figura 3/K.20 Se realizarán pruebas con el conmutador S en cada posición. Véase la nota 3	$U_{ac\ (máx)}$ = 220 $V_{r.m.s.}$ 15 minutos Véase la nota 2	1 para cada posición de S	Véase el § 7, criterio B

Nota 1 – Las Administraciones pueden especificar un valor inferior de $U_{c\ (máx)}$.

Nota 2 – Las Administraciones pueden especificar valores inferiores de $U_{ac\ (máx)}$ y pueden variar la duración de las pruebas para atender sus necesidades locales (por ejemplo tensiones de la red local).

Nota 3 – Durante estas pruebas, pueden permanecer en el circuito las bobinas térmicas, fusibles, cables-fusibles, etc.

CUADROX 2/K.20

Condiciones de las pruebas y tensiones para ambientes expuestos

N.º	Prueba	Entre	Circuito de prueba	Tensión máxima de prueba y duración	Número de pruebas	Protección añadida (Véase el § 6.5)	Criterios de aceptación
1	Simulación de crestas causadas por el rayo	A y E con B puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte a)	$U_{c\,(máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	Ninguna	Véase el § 7, criterio A
		B y E con A puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte a)	$U_{c\,(máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	Ninguna	
		A + B y E	Figura 1/K.20, parte b)	$U_{c\,(máx)}$ = 1 kV Véase la nota 1	10	Ninguna	
2	Simulación de crestas causadas por el rayo	A y E con B puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte b)	$U_{c\,(máx)}$ = 4 kV Véase la nota 2	10	Protección primaria convenida	Véase el § 7, criterio A
		B y E con A puesto a tierra	Figura 1/K.20, parte a)	$U_{c\,(máx)}$ = 4 kV Véase la nota 2	10	Protección primaria convenida	
		A + B y E	Figura 1/K.20, parte b)	$U_{c\,(máx)}$ = 4 kV Véase la nota 2	10	Protección primaria convenida	
3 (a)	Inducción procedente de líneas de energía	A + B y E	Figura 2/K.20 $R_1 = R_2 = 600\ \Omega$ S_2 cerrado	$U_{ac\,(máx)}$ = 300 $V_{r.m.s}$ 200 ms Véase la nota 3	5	Protección primaria convenida	Véase el § 7, criterio A
3 (b)	Inducción procedente de líneas de energía	A + B y E	Figura 2/K.20 $R_1 = R_2 = 200\ \Omega$ S_2 cerrado	Véase la nota 4	1	Protección primaria convenida	Véase el § 7, criterio B

Nota 1 – Cuando la tensión máxima de cebado por choque de la protección primaria convenida sea menos de 1 kV, las Administraciones pueden optar por reducir $U_{c\,(máx)}$.

Nota 2 – Las Administraciones pueden variar $U_{c\,(máx)}$ para satisfacer sus necesidades locales.

Nota 3 – Las Administraciones pueden reducir los valores de U_{ac} y variar el periodo de aplicación.

Nota 4 – Las tensiones y duraciones se ajustarán a las Directrices del CCITT o a otros límites que puedan fijar las Administraciones.

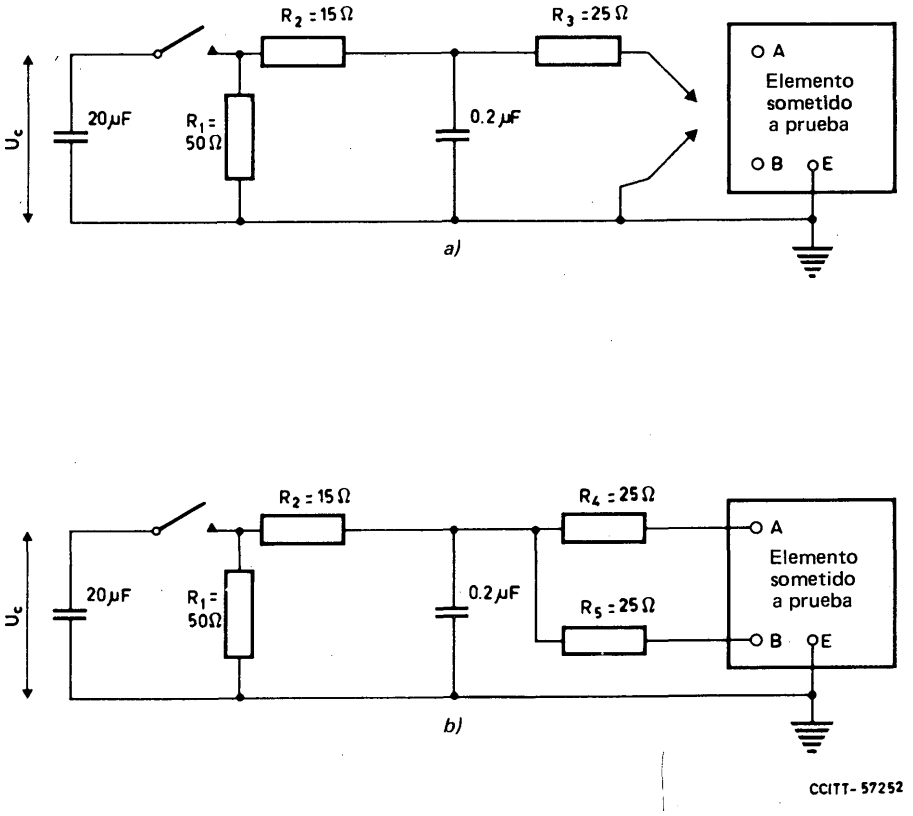


FIGURA 1/K.20

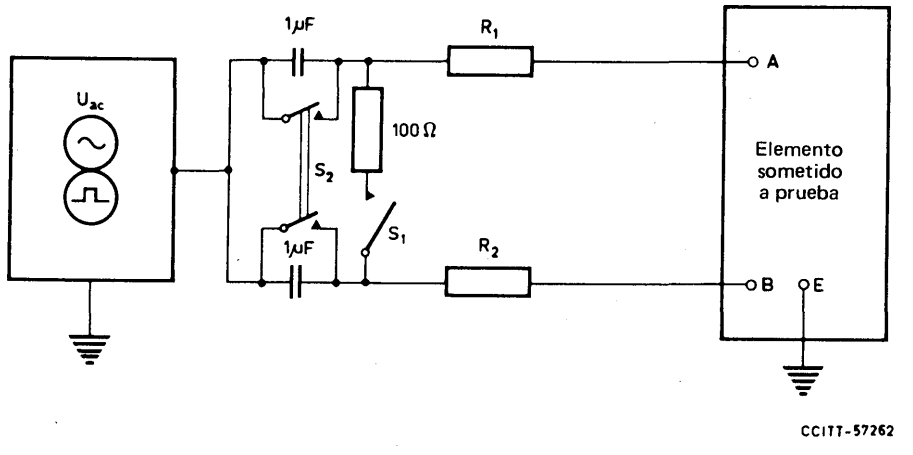


FIGURA 2/K.20

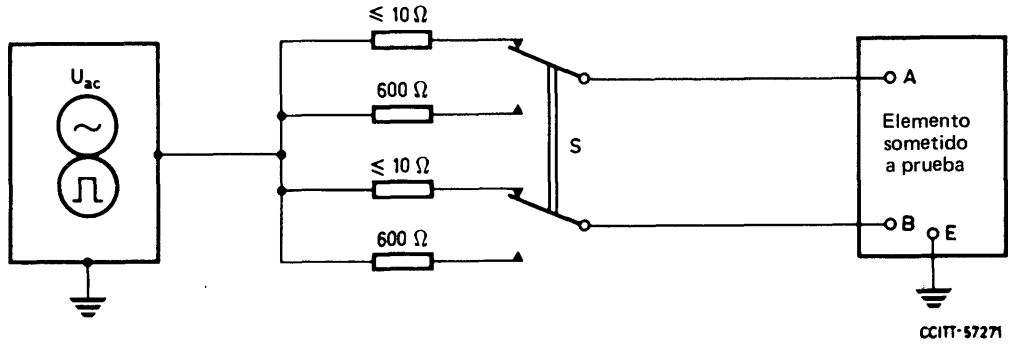


FIGURA 3/K.20

ANEXO A

(a la Recomendación K.20)

Explicaciones ilustrativas de las condiciones de las pruebas

A.1 *Crestas causadas por descargas de rayos*

A.1.1 *Funcionamiento del circuito de simulación*

La figura A-1/K.20 muestra el generador de pruebas de la figura 1/K.20 conectado a un ejemplo de circuito de central con protección primaria instalada en el repartidor principal y con protección secundaria en el propio equipo de la central. Salvo el generador de pruebas de la figura 1/K.20, todo el diseño del circuito y los valores de los componentes se han elegido únicamente con fines ilustrativos y no constituyen un método recomendado.

Cuando la tensión de carga, U_c, aumenta progresivamemte, se representan en el gráfico de la figura A-2/K.20 las tensiones y corrientes que aparecen en diversos puntos del circuito de la figura A – 1/K.20.

Para U_c = 0 a 300 V, la corriente fluye únicamente a través de la resistencia de 100 Ω del equipo.

Para U_c = 300 V, actúa la protección secundaria y la corriente I_T aumenta con más rapidez.

Para U_c = 2385 V, la tensión U a través de la protección primaria alcanza el valor de U_s, 700 V en el caso ilustrado, e I_E llega a su valor máximo de 3 A.

La protección primaria se activa cuando U_c = 2385 V y la corriente total aumenta, a partir de entonces, con mayor rapidez, llegando a alcanzar 100 A cuando U_c = 4 kV. No obstante, la tensión U desciende a un valor bajo, y la corriente I_E que circula hacia el equipo desciende a un valor muy bajo y se hace prácticamente independiente de U_c.

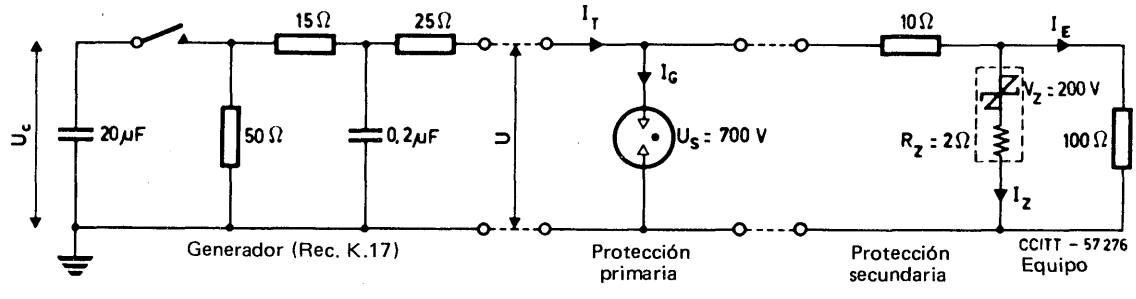
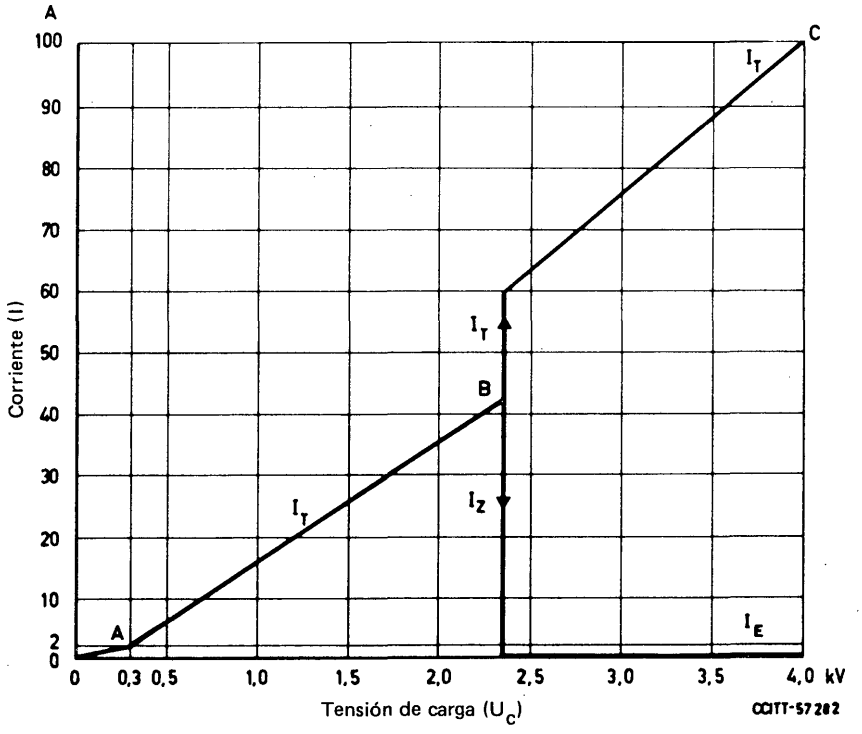


FIGURA A-1/K.20



Los valores de tensión y corriente del gráfico son los siguientes:

Punto del gráfico	U_c	U	I_T	I_G	I_Z	I_E
	(V)		(A)			
A: La protección secundaria funciona	300	200	2	0	0	2
B: Antes de la descarga del descargador de gas	2385	700	42	0	39	3
B: Después de la descarga del descargador de gas	2385	30	59	59	0	0,3
C: U_c máxima	4000	30	100	100	0	0,3

FIGURA A-2/K.20

A.1.2 *Efectos de los dispositivos de protección*

El funcionamiento de la protección primaria, cuando $U = U_s$, tiene dos efectos:

- limita la tensión máxima aplicada al equipo y, por lo tanto, según sea la impedancia interna del equipo, la intensidad máxima que éste debe soportar;
- produce un cambio muy rápido en U e I, el cual, por efectos inductivos o capacitivos, puede llegar a las partes sensibles del equipo de conmutación de la central que, aparentemente, no estaban expuestas a las tensiones de línea.

Por estas razones, es importante que la Administración y el proveedor del equipo se pongan de acuerdo en cuanto a la protección primaria que deberá usarse y que el usuario del equipo proporcione o simule esta protección cuando se hace la prueba. Durante la misma, se tendrán en cuenta las tolerancias admitidas para estos dispositivos de protección.

A.2 *Inducción por líneas de energía*

Las tensiones inducidas se producen más fácilmente en las líneas largas, y en el caso general de que las líneas de abonado no tengan una tierra de baja resistencia se puede considerar que las tensiones inducidas tienen una alta impedancia de fuente consistente en una resistencia de 600 Ω en serie con una capacidad línea-tierra de 1 μF, como se muestra en la figura A-3/K.20. Las pruebas 3(a) y 3(b) del cuadro 2/K.20 representan las

condiciones típicas para líneas largas y cortas, respectivamente, pero no prevén necesariamente condiciones límite. Los descargadores de gas representados en la figura A-3/K.20 sólo se instalan en líneas expuestas. En la figura 2/K.20, dichos descargadores se representan por S_2, y el teléfono por S_1.

Las *Directrices* del CCITT admiten tensiones inducidas de hasta 430 V procedentes de líneas normales de distribución de energía y de 650 V cuando proceden de líneas de alta seguridad, pero la mayor parte de las Administraciones consideran que las tensiones deben ser inferiores a 300 V, salvo en el caso de líneas en ambientes expuestos.

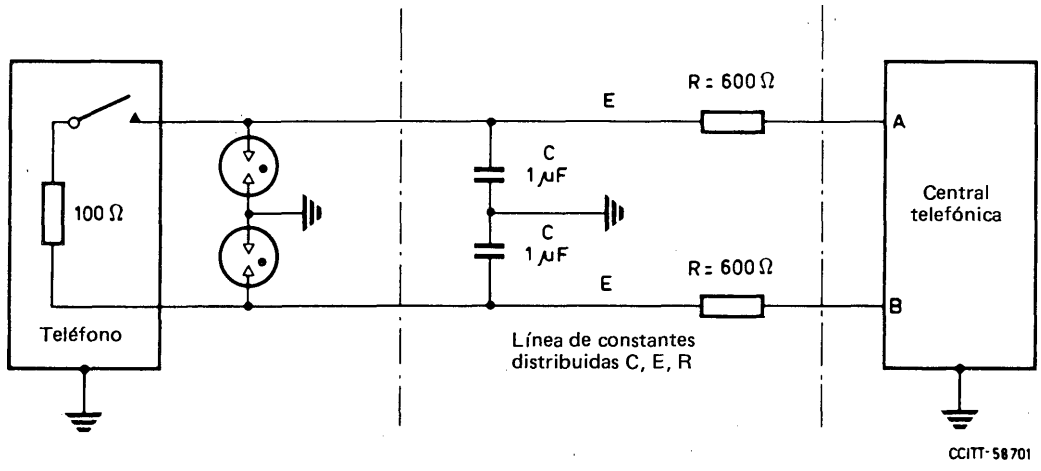


FIGURA A-3/K.20

A.3 *Contactos con líneas de energía*

El contacto directo con líneas de energía eléctrica, puede producirse por faltas de las líneas o de los cables de la red, por equipos defectuosos o no homologados de los abonados o por otras causas. El contacto puede no accionar el disyuntor del sistema de energía. Las corrientes alternas resultantes del contacto directo pueden hacer que la protección eficaz sea difícil y cara. Dado que estos casos se dan raramente, no se requiere que el equipo resista sobretensiones o sobreintensidades debidas a contactos directos sino que presente una tasa de avería aceptable.

Puede haber dos peligros para el equipo producidos por:

- un contacto cerca de una central, donde la impedancia combinada del circuito de cable y de la terminación de la central sea baja, originando una corriente de gran intensidad. Esta condición se simula en la prueba de la figura A-4/K.20 aplicando 220 V a través de una impedancia de 10 Ω;
- un contacto a la máxima distancia de una central cuando la impedancia combinada del circuito por cable y de la terminación de la central sea alta haciendo fluir continuamente una corriente pequeña pero perjudicial. Esta condición se simula en la prueba de la figura A-4/K.20 aplicando 220 V a través de una impedancia de 600 Ω.

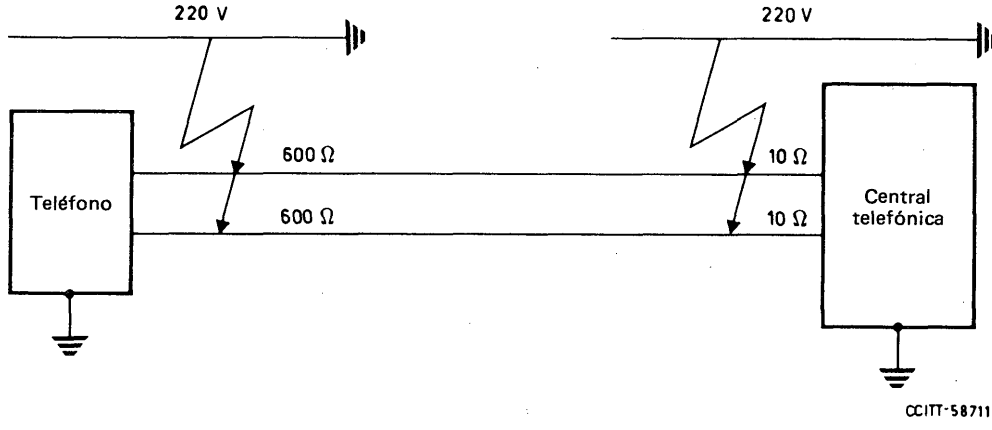


FIGURA A-4/K.20

PARTE II

Recomendaciones de la serie L

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR

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 construidos 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.

Recomendación L.4 (Ginebra, 1972, modificada en Ginebra, 1976 y en Málaga-Torremolinos, 1984)

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 *Calidad del material de las cubiertas*

Para que sea eficaz el medio de protección contra la corrosión, debe ponerse gran cuidado al elegir la calidad de la cubierta. Si se utiliza aluminio puro, el grado de pureza del aluminio de la cubierta no debe ser inferior al 99,5%, tanto en las cubiertas extruidas como en las soldadas.

2.4 *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.

La cubierta de aluminio debe tener un buen revestimiento protector. Una forma de prueba con el cable enrollado en el tambor consiste en medir la resistencia de aislamiento del revestimiento.

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 epóxidas.

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

La protección contra la corrosión debe depender ante todo de los revestimientos protectores anticorrosivos. En previsión de posibles defectos o fallos de estos revestimientos, debe también utilizarse protección catódica como medida suplementaria.

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] *Ibíd.*, § 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) los 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.

Impreso en Suiza — ISBN 92-61-02373-8