



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.18

PROTECCIÓN CONTRA LAS PERTURBACIONES

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

Recomendación UIT-T K.18

(Extracto del *Libro Azul*)

NOTAS

1 La Recomendación UIT-T K.18 se publicó en el Tomo IX del Libro Azul. Este fichero es un extracto del Libro Azul. Aunque la presentación y disposición del texto son ligeramente diferentes de la versión del Libro Azul, el contenido del fichero es idéntico a la citada versión y los derechos de autor siguen siendo los mismos (Véase a continuación).

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1988, 1993

Reservados todos los derechos. No podrá reproducirse o utilizarse la presente Recomendación ni parte de la misma de cualquier forma ni por cualquier procedimiento, electrónico o mecánico, comprendidas la fotocopia y la grabación en micropelícula, sin autorización escrita de la UIT.

Recomendación K.18

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

(Ginebra, 1980; modificada en Málaga-Torremolinos, 1984 y Melbourne, 1988)

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. Ésta 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 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 del anexo B 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:

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

donde

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

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

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

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

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

f es la frecuencia en Hz de la onda radioeléctrica.

En el anexo A se indican otras constantes y variables

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

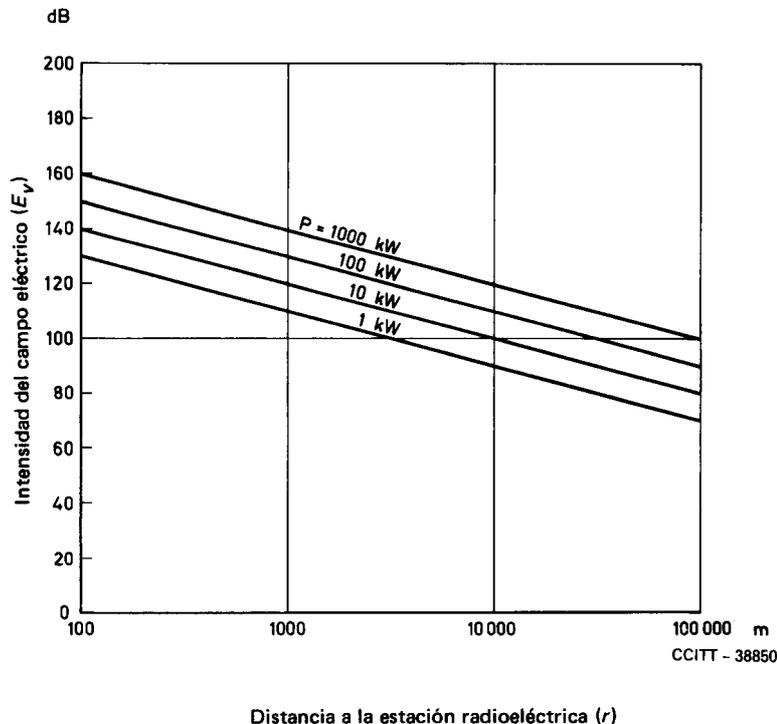
donde

P es la potencia de transmisión de la estación radioeléctrica (W);

r es la distancia a la estación (m);

Z_0 es la impedancia característica del espacio libre ($\approx 377 \Omega$).

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



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

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

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

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

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

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

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

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

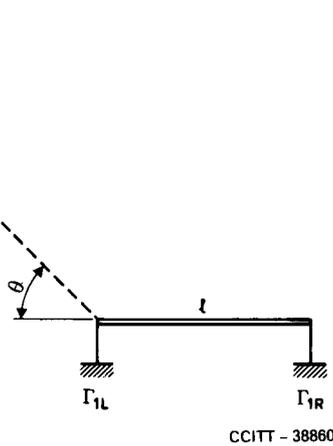
$$l \geq 210 \text{ m}$$

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

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

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

Estación radioeléctrica



$P = 100 \text{ kW}$
 $f = 500 \text{ kHz}$
 $r = 5 \text{ km}$
 $\theta = 45^\circ$
 $\sigma = 10 \text{ mS/m}$

Cable de telecomunicación
 con cubierta de aluminio

diámetro = 22 mm
 espesor = 0,2 mm
 $\alpha_{20} = 6 \text{ dB/km}$
 $\beta_2 = 1,4\beta_0$
 $\Gamma_{1L} = \Gamma_{1R} = 0$

FIGURA 2/K.18

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

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

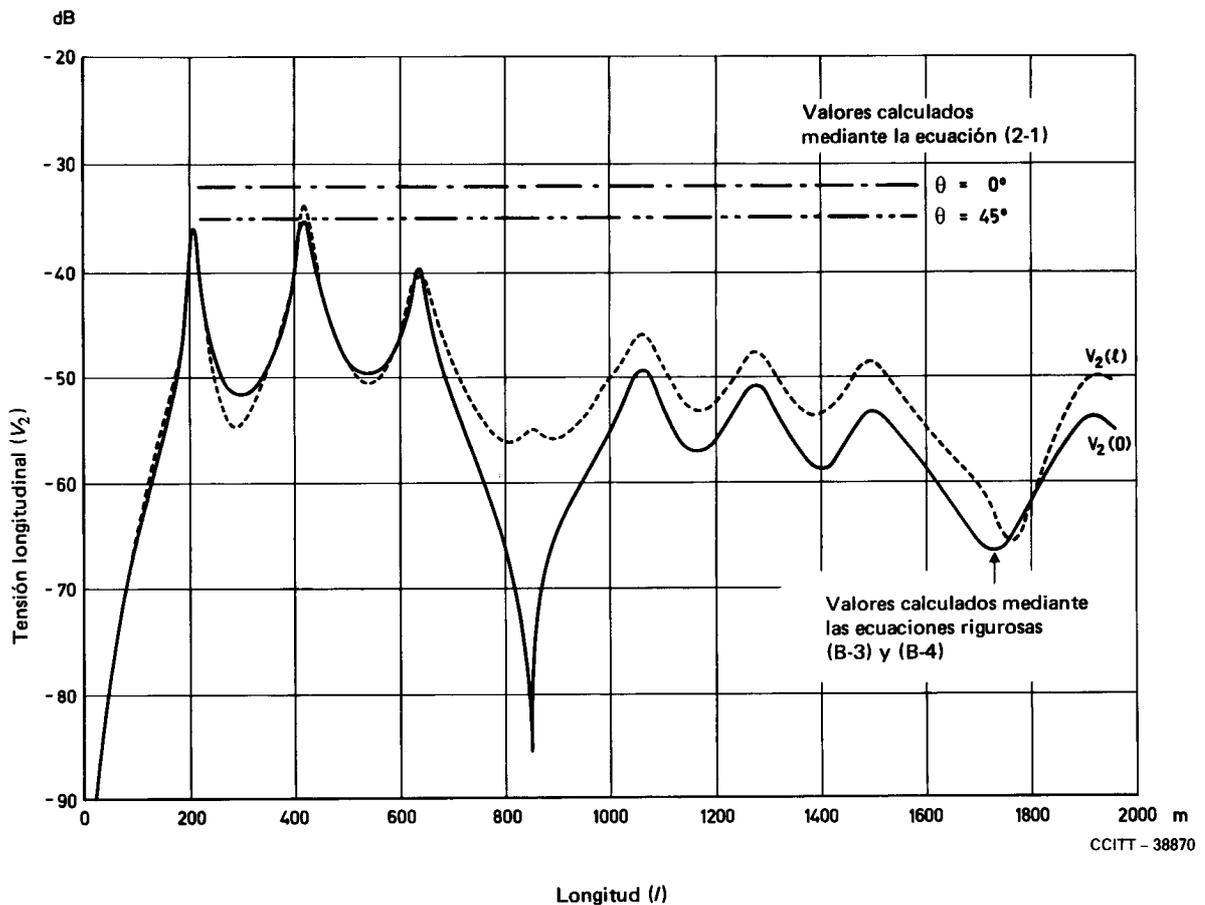


FIGURA 3/K.18

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

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

$$V = \lambda \cdot V_2$$

donde,

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

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

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

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

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

3 Reducción de las interferencias

Para minimizar las interferencias se toman las medidas siguientes:

3.1 La interferencia causada a los circuitos de frecuencia vocal puede reducirse fácilmente mediante la inserción de un condensador de 0,01 a 0,05 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.

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

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

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

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

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

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

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

ANEXO A

(a la Recomendación K.18)

Constantes y variables utilizadas en la Recomendación K.18

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

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

donde

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

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

ϵ_r es la constante dieléctrica característica del suelo;

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

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

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

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

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

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

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

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

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);

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

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

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

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

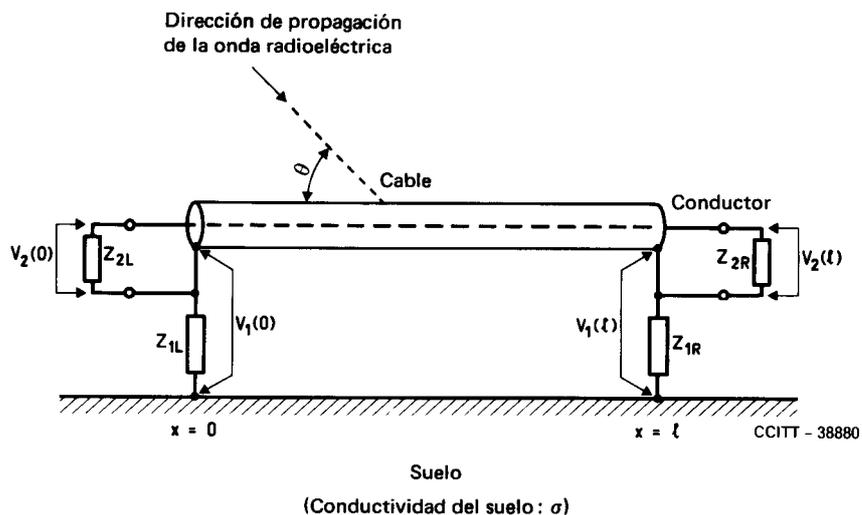


FIGURA A-1/K.18

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:

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

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

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

Las constantes y las variables figuran en el anexo A.

B.2 Cables de telecomunicación con pantalla metálica

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

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

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

Las constantes y las variables figuran en el anexo A.

ANEXO C

(a la Recomendación K.18)

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

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

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

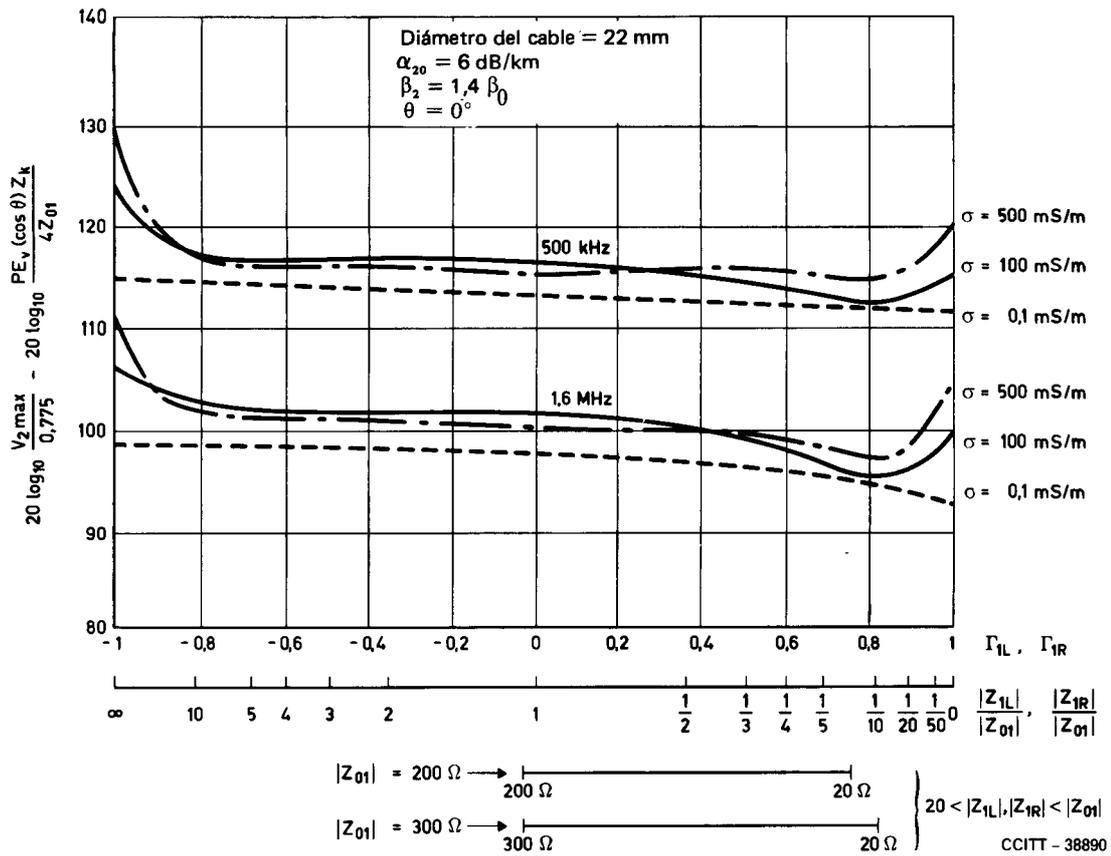


FIGURA C-1/K.18

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

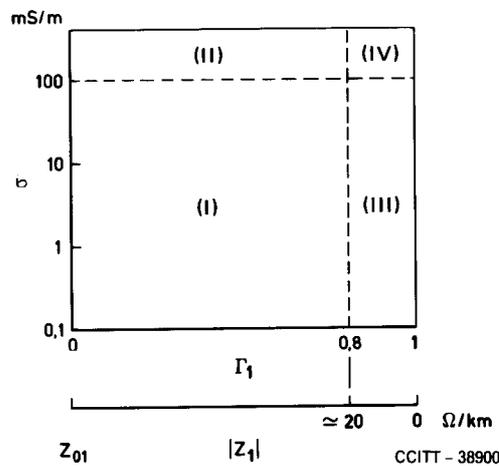


FIGURA C-2/K.18

Gamas de (σ, Γ)

CUADRO C-1/K.18

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

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

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).

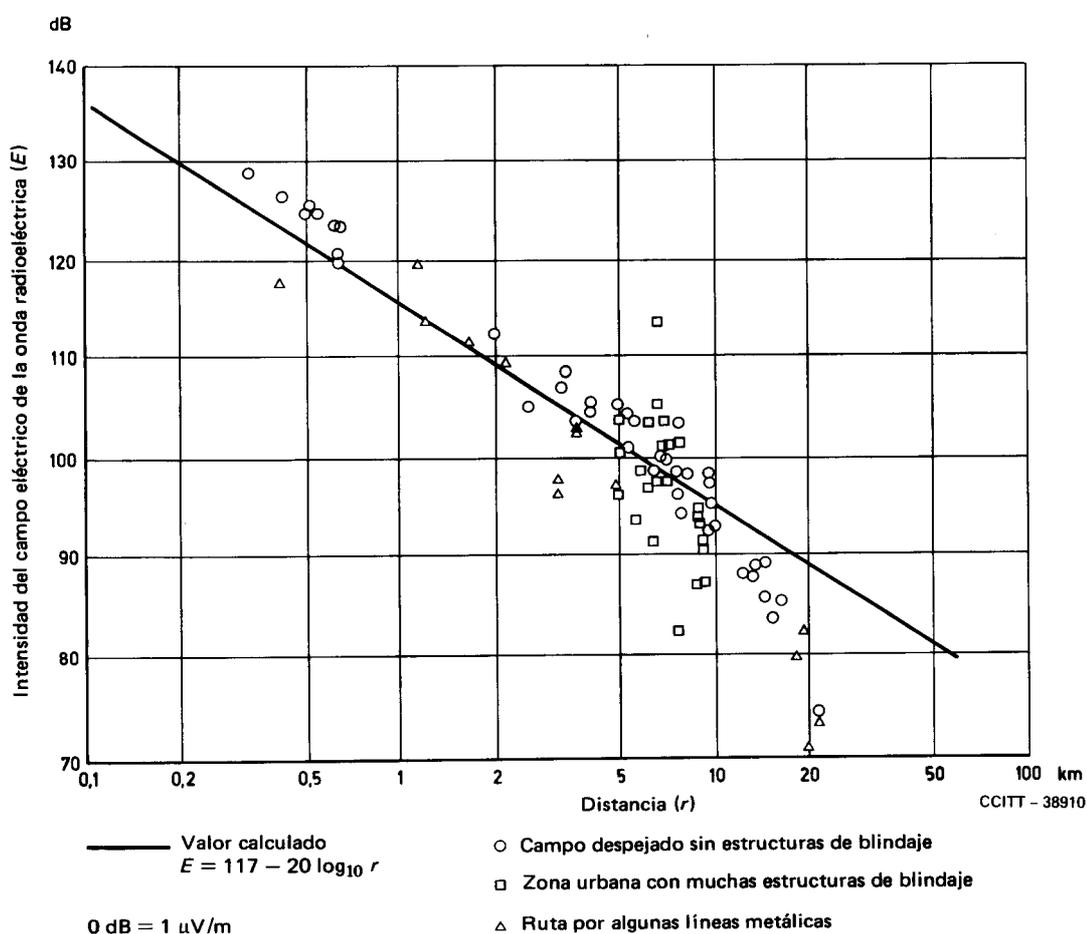


FIGURA D-1/K.18

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

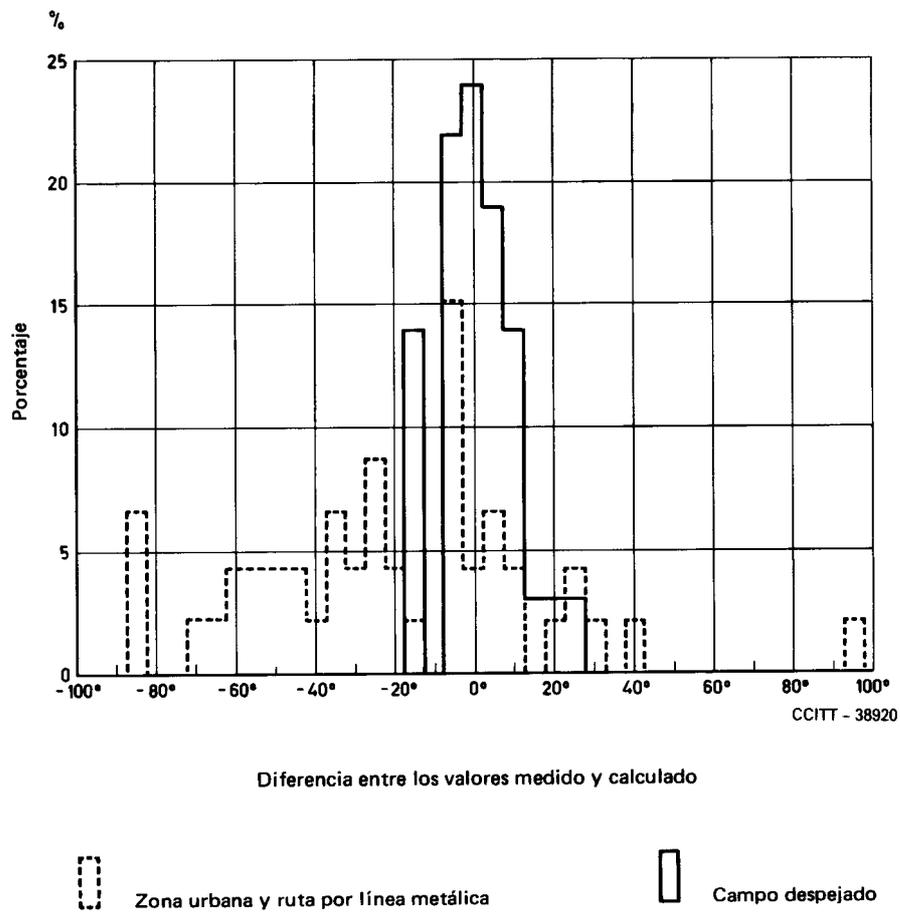


FIGURA D-2/K.18
Histograma de la diferencia entre los valores medido y calculado del
ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica con la línea de telecomunicación

ANEXO E

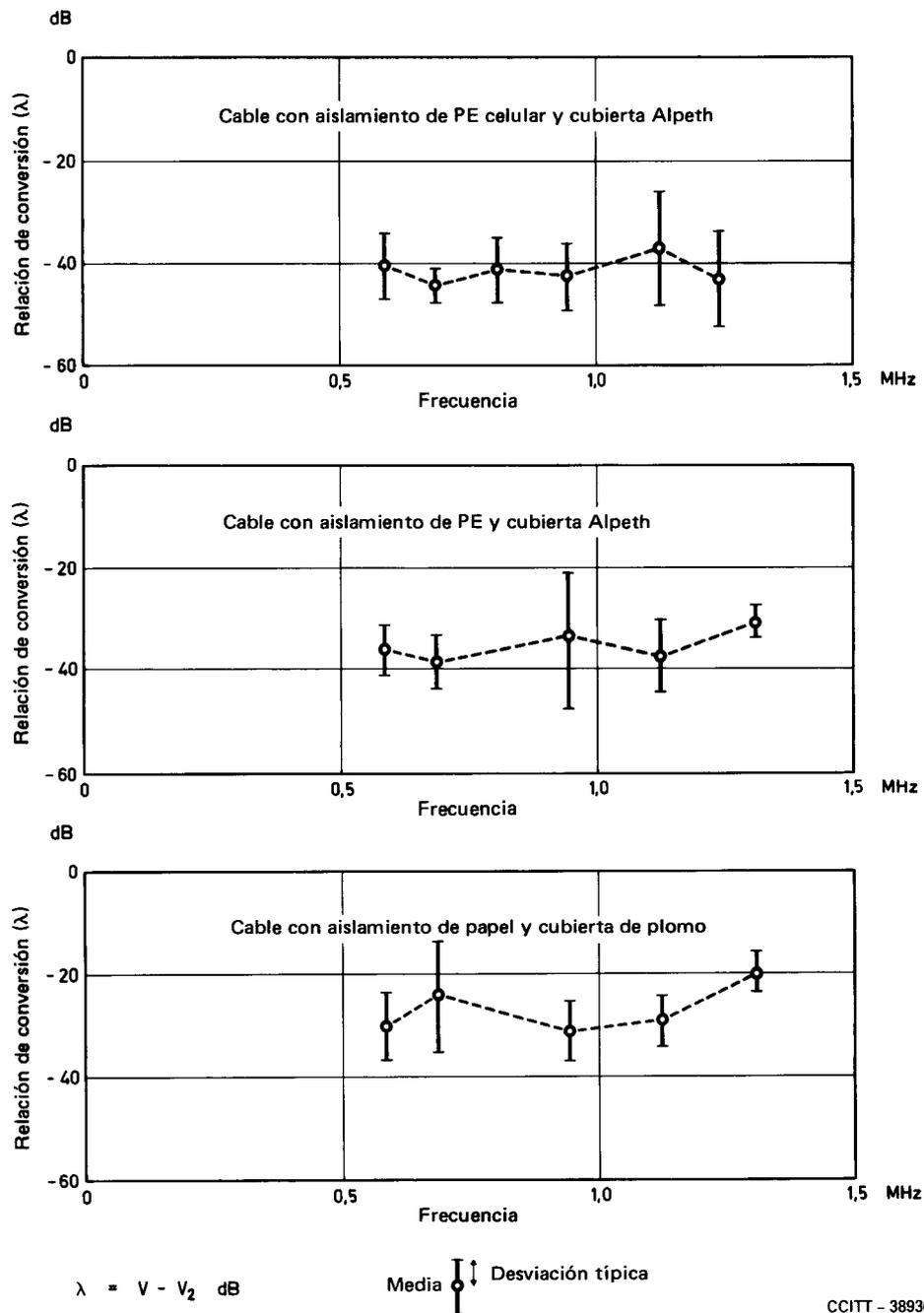
(a la Recomendación K.18)

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_1 y la tensión transversal V_2 ($\lambda = V_1 - V_2$ dB).



CCITT - 38930

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	– Hasta varias decenas de kW – En el caso de interferencia al sistema de abonado, se han comunicado hasta casi 1000 km (0,03 a 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 conductor con respecto a la tierra – Adición de un compensador en el extremo terminal del circuito portador de hilo desnudo – Instalación en los circuitos portadores de una bobina de choque longitudinal suficientemente equilibrada
Calentamiento por radio-frecuencias	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 dB μ V/m fuera del edificio de la estación o a 80 dB μ V/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: $Z_T \approx 0,01 \text{ m}\Omega/\text{m}$ a 1 MHz) y cables coaxiales de trenzado triple (apantallados) (por ejemplo: $Z_T \approx 0,1 \text{ m}\Omega/\text{m}$ 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.