

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE MÚLTIPLES INTERFERENCIAS

(Cuestión 46/10, Programa de Estudios 46L/10)

(1982-1986-1990)

1. Introducción

La intensidad de campo utilizable, E_u , se define en la Recomendación 638 y puede utilizarse como criterio para la evaluación de una situación de interferencia en un determinado canal y en una determinada zona. Tiene en cuenta, en principio, el ruido natural y el ruido artificial, así como el efecto combinado de la totalidad de los transmisores interferentes. Si la intensidad de campo utilizable es grande, la influencia de los transmisores interferentes también es grande; por el contrario, esta influencia es reducida si la intensidad de campo utilizable es pequeña.

La intensidad de campo utilizable es independiente de las características del transmisor deseado y normalmente no presenta variaciones importantes con la ubicación. La intensidad de campo utilizable puede determinarse para cualquier ubicación de interés. A efectos de la planificación internacional, puede ser conveniente calcular el valor de la intensidad de campo utilizable en el emplazamiento del transmisor deseado. Este valor puede considerarse, en primera aproximación, representativo de la situación en toda la zona de cobertura.

Fundamentalmente, se utilizan dos clases de métodos para calcular el efecto combinado de todas las fuentes de interferencia:

- métodos estadísticos,
- métodos no estadísticos.

Se emplea normalmente el "método de la multiplicación simplificada", como ejemplo de método estadístico y el "método de la suma cuadrática", como método no estadístico. También se han obtenido valiosos conocimientos mediante el uso del método estadístico "log-normal" [Kubrakov y otros, 1985].

Se describen los tres métodos y se dan indicaciones para la utilización eficaz de cada uno de ellos.

El método de la multiplicación simplificada y el método log-normal incorporan los efectos de la variabilidad del emplazamiento, suponiendo que obedecen a una ley gaussiana y que se destinan a ser utilizados en ondas métricas y frecuencias superiores. El método de la suma cuadrática es válido para la recepción punto a punto y debe aplicarse sucesivamente con emplazamientos de receptor diferentes en los estudios sobre cobertura.

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 1 y 11.

En el anexo I y en [O'Leary y Rutkowski, 1982], se ofrecen las bases físicas y las indicaciones para la utilización del método de la multiplicación simplificada, mientras que en el anexo II y en [Bobkova y Pavliouk, 1987] se ofrece información similar sobre el método log-normal.

2. Método de la suma cuadrática

Se utilizó el método de la suma cuadrática para la evaluación de múltiples interferencias en la Conferencia para la planificación de la radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas en las Regiones 1 y 3, Ginebra 1975, y en las Conferencias Administrativas de Radiocomunicaciones para el servicio de radiodifusión por satélite, Ginebra 1977 y 1983. En la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por ondas hectométricas (Región 2), Río de Janeiro, 1981, se utilizó un método similar denominado «método RSS».

Las curvas de propagación utilizadas en esas Conferencias mostraron poca variación con el emplazamiento. El método también puede aplicarse cuando la variación con el emplazamiento es considerable, y se basa en los siguientes supuestos:

- no existe ninguna correlación entre las amplitudes y la relación de fases es aleatoria, respecto a las señales interferentes y la señal deseada en el punto de recepción;
- se considera el efecto del ruido atmosférico y del ruido artificial, incluyendo como fuente de interferencia la intensidad de campo mínima utilizable.

La siguiente fórmula simple puede utilizarse como medio de calcular el conjunto de dicha interferencia, cuando los campos deseado e interferente pueden considerarse estables:

$$E_u = \sqrt{\sum_i (a_i b_i E_{ni})^2 + E_{min}^2} \quad (1)$$

donde:

- E_u : intensidad de campo utilizable,
- E_{ni} : intensidad de campo del transmisor no deseado i ésimo (i°),
- E_{min} : intensidad de campo mínima utilizable,
- a_i : relación de protección en radiofrecuencia asociada con el transmisor no deseado i° , expresada como relación numérica de las intensidades de campo,
- b_i : discriminación de la antena receptora en la dirección del transmisor no deseado i ésimo, expresando la ganancia relativa con relación a la dirección de la señal deseada como una relación numérica de intensidades de campo,

y en donde las distintas intensidades de campo en el punto de recepción se expresan en $\mu\text{V}/\text{m}$.

En el caso de campos y ruido fluctuantes, puede utilizarse una expresión modificada, que comprende un margen de protección contra los desvanecimientos:

$$E_{u(100-t)} = \sqrt{F_{n(t)}^2 E_{min(50)}^2 + \sum_i (a_i b_i E_{ni(t)})^2} \quad (2)$$

donde:

- $E_{u(100-t)}$: intensidad de campo utilizable para el $(100-t)\%$ del tiempo,
- $E_{min(50)}$: valor mínimo de la intensidad de campo necesaria para indicar la calidad de recepción deseada en presencia de ruido durante el 50% del tiempo,
- $F_{n(t)}$: margen de protección contra el desvanecimiento debido al ruido para el $t\%$ del tiempo, expresado como una relación numérica de intensidades de campo,
- $E_{ni(t)}$: intensidad de campo en el i ésimo transmisor no deseado durante el $t\%$ de tiempo. $E_{ni(t)}$ es el valor tomado de la curva de propagación apropiada o el valor medio $E_{ni(50)}$ más el margen de protección contra el desvanecimiento debido a señales interferentes para el $t\%$ del tiempo, expresado como una relación numérica de intensidad de campo.

Los símbolos restantes tienen el mismo significado que en la ecuación (1).

3. Métodos estadísticos

Se han elaborado hasta la fecha cuatro métodos de cálculo estadístico que pueden utilizarse para determinar los efectos de la interferencia múltiple [Comité ad hoc, 1949 y 1950]. Son los siguientes:

- el método de integración,
- el método log-normal,
- el método de la multiplicación,
- el método de la multiplicación simplificada.

Estos procedimientos tratan de utilizar la naturaleza estadística (en los emplazamientos) de curvas de propagación tales como las dadas en la Recomendación 370. Aunque basados fundamentalmente en un solo enfoque teórico, tales procedimientos difieren entre sí como resultado de las distintas hipótesis físicas que les sirven de base. Éstas se han introducido en cada procedimiento con objeto de simplificar los cálculos matemáticos. La utilización de cualquiera de estos procedimientos da funciones de distribución que describen las probabilidades de recepción en los emplazamientos, utilizadas en asociación con los Informes 228 y 485 para calcular la cobertura.

El método de la multiplicación simplificada y el método log-normal son los menos complejos. El primero se utilizó para calcular múltiples interferencias en las Conferencias Europea y Africana de Radiodifusión por ondas métricas y decimétricas en 1961 y 1963, y en la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión sonora en modulación de frecuencia en la banda de ondas métricas (Ginebra, 1984).

3.1 Método de la multiplicación simplificada

Este método se basa en los supuestos siguientes:

- no existe correlación alguna entre los campos de interés;
- la dispersión en el tiempo de la intensidad de campo del transmisor deseado se puede despreciar, en comparación con la del transmisor no deseado;
- en el punto de recepción domina uno de los campos interferentes;
- la influencia del ruido se puede despreciar para compensar los errores introducidos por las otras aproximaciones.

La intensidad de campo, E_u , utilizable se determina para una probabilidad de cobertura dada (respecto al tiempo y al emplazamiento) y depende de los valores de los campos interferentes:

$$E_{si} = P_i + E_{ni(50, T)} + A_i + B_i \quad (3)$$

donde:

- E_{si} : campo interferente correspondiente al transmisor no deseado i° ;
- P_i : p.r.a. en dB(kW), del transmisor no deseado i° ;
- $E_{ni(50, T)}$: intensidad de campo, en dB(μ V/m), normalizada a una p.r.a. de 1 kW, del transmisor no deseado i° . Esta intensidad de campo se excede en el 50% de los emplazamientos durante por lo menos $T\%$ (por ejemplo, 1% del tiempo);
- A_i : relación de protección en radiofrecuencia correspondiente al transmisor no deseado i° , expresada en dB;
- B_i : discriminación de la antena receptora, expresada en dB.

Suponiendo una distribución normal de la intensidad de campo, expresada en dB(μ V/m), utilizando el método de la multiplicación simplificada puede tenerse en cuenta de forma apropiada el efecto de múltiples fuentes de interferencia. Con este método se puede calcular por iteración la intensidad de campo utilizable, E_u , mediante la expresión siguiente:

$$p_c = \prod_{i=1}^n L(x_i) \quad (4)$$

siendo:

$$x_i = \frac{E_u - E_{si}}{\sigma_n \sqrt{2}}$$

donde:

- p_c : probabilidad de cobertura (por ejemplo, 50% de los emplazamientos, $(100 - T)\%$ del tiempo) en presencia de n campos perturbadores;
- $L(x)$: probabilidad de cobertura en presencia de un único campo perturbador, igual a la integral de probabilidad para una distribución normal (véase el anexo I);
- σ_n : desviación típica (con relación al emplazamiento) de las intensidades de campo interferente y deseado (dB(μ V/m)) (véase el anexo I).

Para más detalles, véase el anexo I y [O'Leary y Rutkowski, 1982].



3.2 Método log-normal

Este método se basa en los supuestos siguientes:

- no existe correlación alguna entre los campos de interés;
- se supone que la variabilidad de emplazamiento de la intensidad de campo de los transmisores deseados y todos los transmisores interferentes es idéntica;
- el efecto de ciertas intensidades de campo interferente, cada una de las cuales obedece a la ley log-normal, se sustituye en el punto de recepción por el efecto de una intensidad de campo interferente resultante, sujeta a la ley log-normal con los siguientes parámetros [Fenton, 1960; Bobkova y Pavliouk, 1987]:

$$E_r = 0,1152 \sigma^2 + 10 \log \left(\sum_i M_{si} \right) - 5 \log U$$

$$\sigma_r = 6,58 \sqrt{\log U}$$

$$U = \frac{(k - 1) \sum_i M_{si}^2}{\left(\sum_i M_{si} \right)^2} + 1$$

$$k = \exp \left[\left(\sigma / 4,34 \right)^2 \right]$$

$$M_{si} = 10^{E_{si}/10}$$

- donde:
- E_{si} - campo perturbador correspondiente al i -ésimo transmisor no deseado, obtenido de la ecuación (3);
 - E_r - valor mediano de los campos perturbadores, expresado en decibelios;
 - $\sigma; \sigma_r$ - desviaciones típicas con emplazamiento de las intensidades de campo interferentes e intensidad de campo interferente resultante, respectivamente, expresadas en decibelios;
 - la intensidad de campo utilizable (a efectos de la planificación de la radiodifusión sonora y de televisión se define para el L_5 de los emplazamientos en las que se cumplen simultáneamente dos condiciones:
 - a) la señal deseada excede el nivel de ruido en la cantidad estipulada, y
 - b) la relación de protección necesaria, es decir:

$$E_u \geq E_{\min} \text{ (50\% de los emplazamientos y 50\% del tiempo)}$$

$$E_u \geq E_{si} \text{ (50\% de los emplazamientos y } T\% \text{ del tiempo).}$$

La condición b) se cumple cuando la intensidad de campo utilizable, E_{u1} , es igual a E_r . La probabilidad de que se cumplan ambas condiciones a) y b) es igual al producto de sus probabilidades:

$$P_c = P_1 \cdot P_2 = L \left(\frac{E_{u1} - E_r}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_r^2}} \right) \cdot L \left(\frac{E_{u1} - E_{\min}}{\sigma} \right)$$

donde: p_1, p_2 - son las probabilidades de que se cumplan las condiciones a) y b) respectivamente; sus valores se determinan mediante una curva de distribución normalizada de ley normal

y $L(x)$ es la probabilidad integral (véase la ecuación (8) del anexo I).

Si el valor hallado para p_c satisface el valor predeterminado de la probabilidad de cobertura p_{cp} (generalmente $p_{cp} = 0,5$, o sea, que se define E_u para el 50% de los empalmientos de recepción), entonces $E_u = E_{u1}$ y se completa el cálculo. No obstante, si $p_c \neq 0,5$, se sigue calculando la intensidad de campo utilizable mediante iteración y la fórmula:

$$E_u = E_{u1} + \frac{0,5 - p_c}{0,05}$$

En el anexo II y en [Bobkova y Pavliouk, 1987] se ofrecen los detalles del cálculo.

Método log-normal simplificado

Suponiendo, como se hace en el caso del método de la suma de potencias, que los efectos de las interferencias y de otros ruidos de origen artificial pueden ser explicados tomando en cuenta la intensidad de campo utilizable mínima como fuente de interferencia, y si la fluctuación de la intensidad de campo correspondiente se comporta también según la ley log-normal, el método puede ser simplificado de modo que se pueda aplicar en el 50% de las ubicaciones de recepción el procedimiento no iterativo para la determinación de la intensidad de campo utilizable [Bobkova, 1988].

Partiendo de este supuesto, es posible introducir E_{min} en la expresión de la intensidad de campo resultante como fuente adicional de interferencia:

$$E_{rs} = 0,1152 \sigma^2 + 10 \lg \left(\sum_i M_i + M_{min} \right) - 5 \lg U_s,$$

$$\text{donde } U_s = \frac{(k-1) \left(\sum_i M_i^2 + M_{min}^2 \right)}{\left(\sum_i M_i + M_{min} \right)^2} + 1,$$

M_{min} - media de la intensidad de campo utilizable mínima, expresada en unidades de potencia relativa.

El valor de E_{rs} obtenido determina directamente la mediana de la intensidad utilizable (para el 50% de las ubicaciones de recepción). El valor de la intensidad de campo utilizable correspondiente a cualquier otro porcentaje de ubicaciones puede obtenerse mediante el mismo procedimiento iterativo utilizado en el método log-normal ordinario, a partir de la expresión:

$$p_{cp} = L \left(\frac{E_u - E_{rs}}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_{rs}^2}} \right)$$

donde p_{cp} - valor predeterminado de la probabilidad de cobertura

σ_{rs} - desviación cuadrática media del campo de interferencia resultante, determinada sustituyendo U_s en la expresión precedente.

4. Comparación de los resultados obtenidos empleando diversos métodos

Los puntos 4.1 y 4.2 se refieren en particular al método de la multiplicación simplificada y al método de la suma cuadrática, mientras que el punto 4.3 trata del método log-normal.

4.1 *Consideraciones generales*

Se facilita a continuación una comparación de los cálculos, utilizando los dos métodos en iguales condiciones (sin discriminación de la antena receptora). Esta comparación permitirá al lector estimar la diferencia que puede esperarse al aplicar uno u otro método, en lugar de aconsejar un método determinado. En este sentido conviene notar que los dos métodos nos darán sólo valores aproximados de la intensidad de campo utilizada.

Las diferencias entre los resultados de ambos métodos pueden ser importantes y ha de actuarse con la máxima prudencia al deducir conclusiones adicionales de estos resultados, por ejemplo, en lo que respecta al número de canales necesarios para una cobertura satisfactoria de un programa.

No obstante, conviene reconocer también que puede utilizarse, con un grado comparable de precisión, cualquiera de los dos métodos como base de comparación entre las distintas variantes de un plan.

4.2 *Resultados*

Las figs. 1 y 2 presentan las diferencias ΔE entre las intensidades de campo utilizables calculadas conforme al método de la multiplicación simplificada (E_M) para un porcentaje de emplazamientos receptores del 45% y el 50%, respectivamente, o al método de la suma cuadrática (E_p) para un porcentaje no definido de emplazamientos receptores. Esta diferencia ΔE depende de la relación entre las posibilidades de interferencia de los distintos transmisores, esto es, sus características técnicas, la distancia del transmisor deseado y la separación de frecuencias. Normalmente existe una fuente predominante de interferencia que produce un campo de perturbación E_1 , seguida de una segunda y menos perjudicial fuente de interferencia que crea un campo de perturbación E_2 ; los restantes transmisores interferentes producen campos de perturbación gradualmente decrecientes $E_3 \dots E_n$.

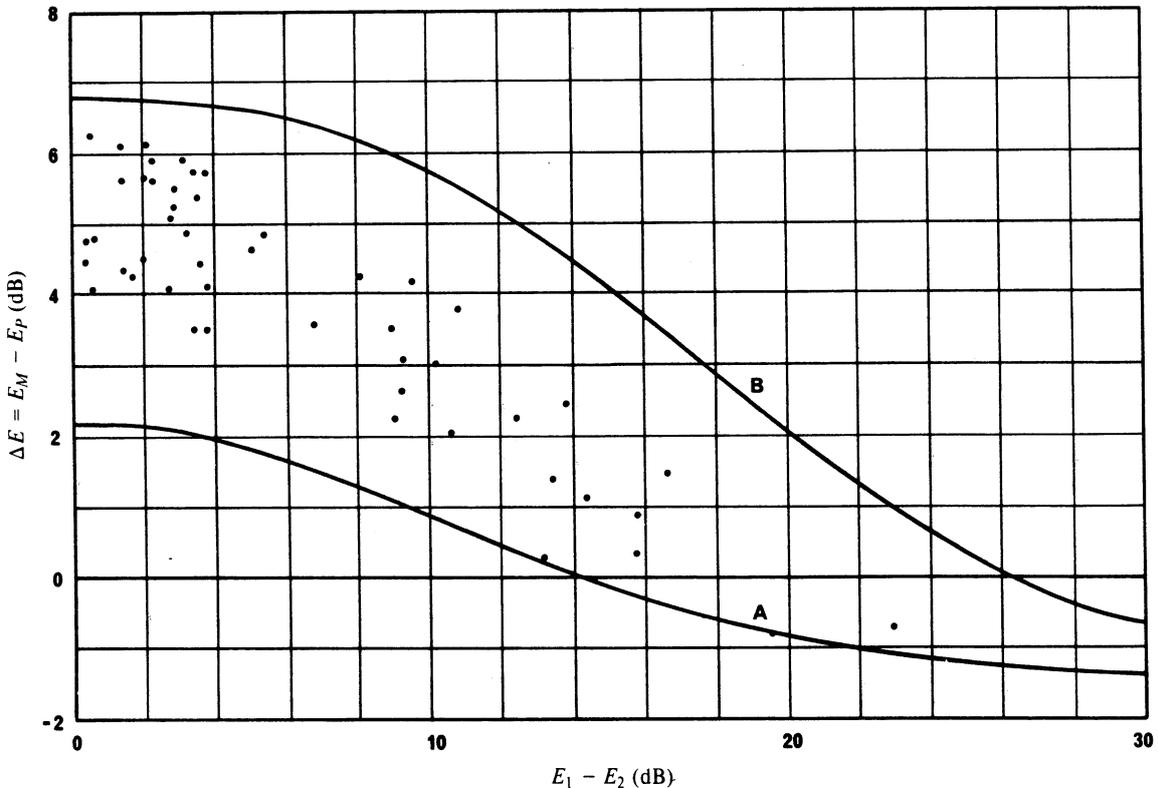


FIGURA 1 - Diferencia de la intensidad de campo utilizable, ΔE , en función de la diferencia entre los campos de perturbación, E_1 y E_2 . Porcentaje de emplazamientos para el método de la multiplicación simplificada: 45%

- : 50 transmisores
- $E_1 - E_2$: Diferencia entre los campos perturbadores de los dos transmisores interferentes más fuertes
- $\Delta E = E_M - E_P$: Diferencia entre los valores de intensidad de campo utilizable obtenidos con el método de multiplicaciones simplificadas (E_M), o con el método de la suma de potencias
- Curvas A : Curva limitante obtenida para el caso de dos campos de perturbación, E_1 y E_2
- B : Curva limitante obtenida para el caso de 10 campos de perturbación, E_1 y 10 veces el valor de E_2

En las figs. 1 y 2 están inscritos los valores de

$$\Delta E = E_M - E_P = f(E_1 - E_2)$$

para 50 valores de ΔE obtenidos para los 50 primeros (en orden alfabético) de 345 transmisores que funcionan en la actualidad en la República Federal de Alemania. Se considera que estos 50 valores son representativos de los 345 transmisores MF en ondas decimétricas. Por otra parte, se han incluido dos curvas limitantes, A y B, entre las cuales se sitúan la totalidad de los 50 valores obtenidos. Estas curvas limitantes toman en cuenta las n fuentes de interferencia $E_1 \dots E_n$ de diferente manera: para la curva limitante inferior (A) sólo se toman en consideración los campos de perturbación E_1 y E_2 , mientras que para la curva limitante superior (B) hay $(n - 2) = 8$ fuentes de interferencia adicionales iguales en intensidad a E_2 :

$$E_2 = E_3 = E_4 = \dots = E_{10}$$

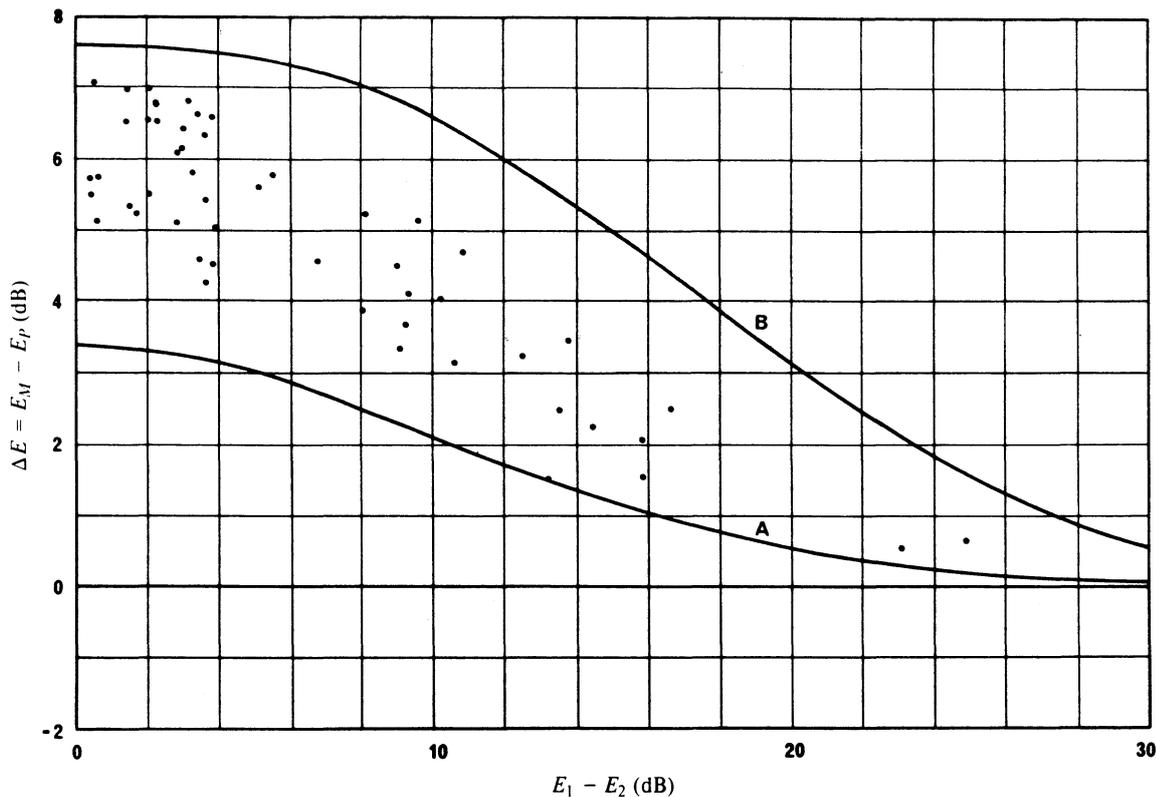


FIGURA 2 - Diferencia de la intensidad de campo utilizable, ΔE , en función de la diferencia entre los campos de perturbación, E_1 y E_2 . Porcentaje de emplazamientos para el método de la multiplicación simplificada: 50%

● : 50 transmisores

$E_1 - E_2$: Diferencia entre los campos perturbadores de los dos transmisores interferentes más fuertes

$\Delta E = E_M - E_P$: Diferencia entre los valores de intensidad de campo utilizable obtenidos con el método de multiplicaciones simplificadas (E_M), o con el método de la suma de potencia (E_P)

Curvas A : Curva limitante obtenida para el caso de 2 campos de perturbación, E_1 y E_2

B : Curva limitante obtenida para el caso de 10 campos de perturbación, E_1 y 10 veces el valor de E_2

Puede observarse en las figs. 1 y 2 que, en la mayoría de los casos, el método de la multiplicación simplificada da valores que son hasta alrededor de 7 dB superiores a los obtenidos con el método de la suma de potencias, dependiendo de la configuración de la red.

Un análisis de las intensidades de campo utilizables de 1177 asignaciones del Reino Unido inscritas en el Plan para la radiodifusión sonora en modulación de frecuencias en la banda de ondas métricas de la Región 1, Ginebra, 1984, produjo resultados casi idénticos, que se indican a continuación:

Porcentaje de asignaciones	Relación (dB) de las intensidades de campo utilizables excedidas Multiplicación simplificada: suma cuadrática
4	7
50	5
85	3

Nota. — En los cálculos se tuvieron en cuenta las primeras 20 fuentes interferentes.

- Los resultados del método de la multiplicación simplificada se basan en una probabilidad de cobertura del 50% de los emplazamientos.

Cabe señalar que todas las comparaciones antedichas se refieren a las bandas de ondas métricas. Las diferencias entre los dos métodos serán mayores en ondas decimétricas, debido a los valores superiores de la desviación típica con relación al emplazamiento.

4.3 Consideración de la correlación de emplazamientos entre los campos

Si no existe una correlación de emplazamientos entre los campos deseado e interferente, la desviación típica global de la variación debida al emplazamiento se obtiene de:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_s^2} = \sigma_n \sqrt{2} \quad (5)$$

donde σ_n y σ_s son las desviaciones típicas con relación al emplazamiento de las señales deseada e interferente, respectivamente, que se consideran idénticas e iguales a:

- 8,3 dB para las bandas I a III,
- $9,5 + 0,405 g$ dB para las bandas IV y V (siendo g una función de Δh , véase el anexo I, § 2).

No obstante, la ecuación (5) es el caso particular, correspondiente al coeficiente de correlación de emplazamientos $\rho = 0$, de la expresión general:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 - 2\rho\sigma_n\sigma_s + \sigma_s^2}$$

Entonces, los valores positivos de ρ darán valores reducidos de σ y, en consecuencia, también de la intensidad de campo utilizable resultante cuando se emplea el método de la multiplicación simplificada.

La fig. 3 muestra la relación entre las intensidades de campo utilizables obtenidas mediante el método de la multiplicación simplificada (m.m.s.), el método de la suma cuadrática y el método log-normal. A efectos de simplificación, los cálculos se basan en el caso en que todas las intensidades de campo interferentes son de la misma magnitud. Los datos que se ofrecen en la fig. 3 y también en [Bobkova y Pavliouk, 1987] muestran que el método log-normal proporciona — valores intermedios entre los resultados calculados mediante el método de la multiplicación simplificada (caso límite cuando $\rho = 0$) y el método de la suma cuadrática. La curva C (método log-normal) se aproxima más que ninguna a la curva B. (s.m.m. para $\rho = 0,25$)

En el Reino Unido se han realizado una serie de pruebas en ondas métricas y decimétricas, para establecer los valores típicos de ρ que se dan en la práctica. La mayoría de ellas proporcionaron resultados que se encuentran dentro de la gama de 0,25 a 0,75, con una tendencia a que los valores más altos se produzcan cuando las señales llegan por la misma dirección; también como era de esperar, se manifestó una tendencia hacia valores inferiores a la gama indicada (pero aún positivos) cuando uno de los transmisores se encuentra dentro del área estudiada.

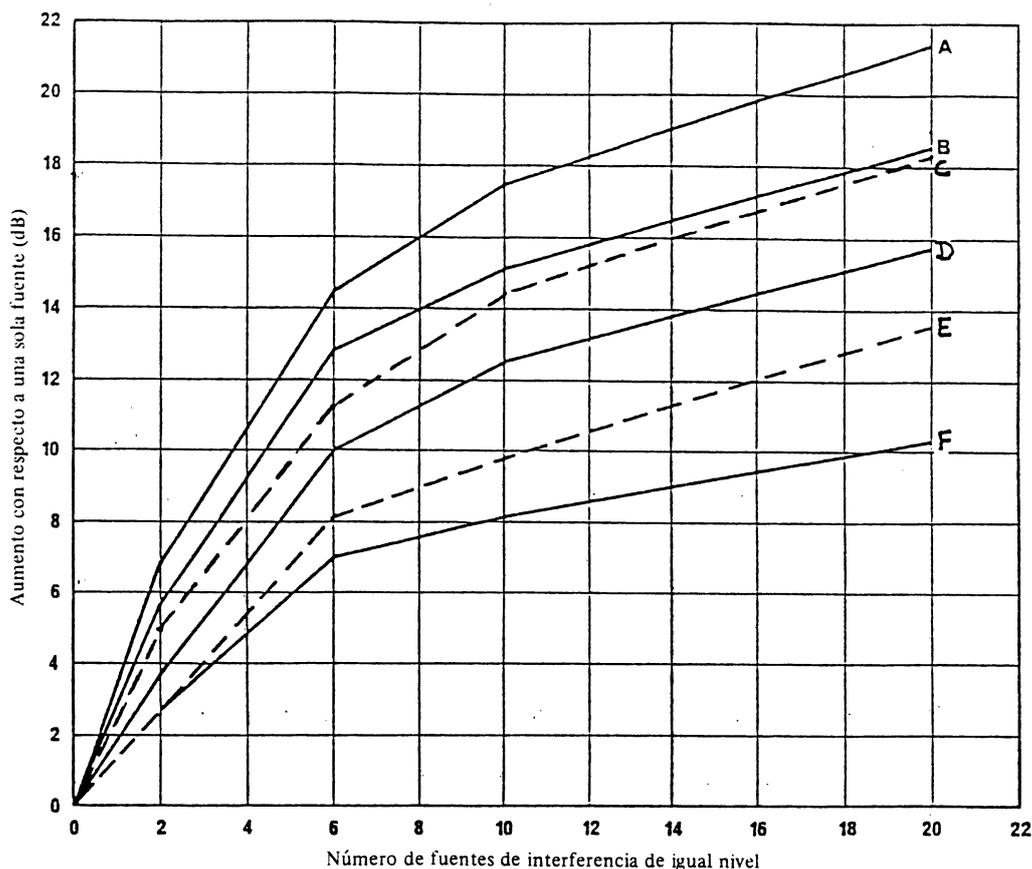


FIGURA 3

- A: M.m.s. para $\rho = 0$
- B: M.m.s. para $\rho = 0,25$
- C: Método log-normal
- D: M.m.s. para $\rho = 0,5$
- E: Método de la suma cuadrática
- F: M.m.s. para $\rho = 0,75$

En la Figura 4 puede apreciarse la diferencia $\Delta E_u = E_r - E_{r,s}$ entre los valores de la intensidad de campo utilizable obtenida mediante el método log-normal (E_r) y mediante el método log-normal simplificado ($E_{r,s}$), para un caso en que existan seis campos interferentes equivalentes en el punto de recepción, como ocurre en la red ordinaria (Informe 944). En abscisas se representa la diferencia $\Delta E_s = E_{s,i} - E_{min}$ entre los valores de la intensidad de campo interferente $E_{s,i}$ y de la intensidad de campo utilizable mínima.

En la misma Figura 4 puede verse que, para el caso $E_{s,i} \geq E_{min} + 2$ dB, ambos métodos arrojan resultados idénticos: cuando $E_{s,i} = E_{min}$, la diferencia es de sólo 0,1 dB. La diferencia máxima, 1,7 dB, se obtiene cuando $E_{s,i} \leq E_{min} - 10$ dB, es decir, cuando el nivel de interferencia activa es muy bajo y el tamaño de la zona de servicio del transmisor deseado depende exclusivamente del valor de la intensidad de campo utilizable mínima elegido.

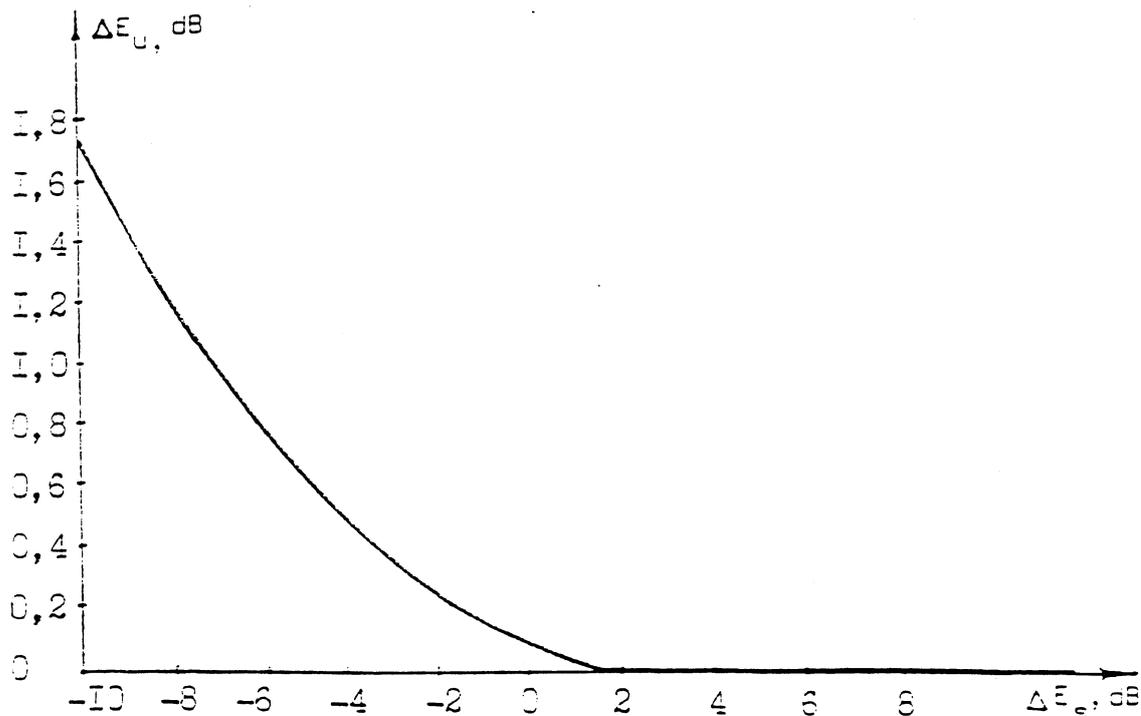


FIGURA 4 - Diferencia entre los valores de la intensidad de campo utilizable obtenidos mediante el método log-normal normalizado y mediante el método log-normal simplificado

5. Conclusiones

El método de multiplicación simplificado, el método log-normal y el método log-normal simplificado son de naturaleza estadística y pueden utilizarse para evaluar valores de interferencia en un porcentaje cualquiera de ubicaciones. En los cálculos correspondientes al 50% de las ubicaciones de recepción y al 50% del tiempo, el método log-normal simplificado es el más económico de estos métodos estadísticos en términos de tiempo de cálculo. El método de la suma de potencias es también bastante sencillo, pero los resultados que arroja son ligeramente más optimistas que los obtenidos mediante el método de multiplicación simplificado.

La inclusión de valores realistas del coeficiente de correlación en un método modificado de multiplicación simplificada debería reducir considerablemente las diferencias entre este método y el de la suma cuadrática, especialmente en aquellos casos en los que el coeficiente de correlación está entre 0,5 y 0,75. Sin embargo hacen falta nuevos estudios para proporcionar valores del coeficiente de correlación de emplazamientos, ρ , que puedan aplicarse en diversos tipos de terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COMITE AD HOC [1949 y 1950] Report of the ad hoc Committee for the Evaluation of the radio propagation factors concerning the television and frequency modulation broadcasting service in the frequency range between 50 and 250 Mc. Volumen I, 31 de mayo de 1949; Volumen II, 7 de julio de 1950; apéndices B, C, D, E; referencias E y L.
- BOBKOVA, E.N. y PAVLIOUK, A.P., Comparative analysis of different interfering field strength combination methods. 7^a Coloquio Internacional sobre Compatibilidad electromagnética. Zurich, marzo de 1987.
- BOBKOVA, E.N. [junio 1988] Predlagaemye uproshcheniya v log-normalnom metode rascheta ispolzuemoi napryazhennosti polya (Simplificaciones propuestas del método log-normal de cálculo de la intensidad de campo utilizable), 9^a Simposio Internacional de Wroclaw.
- FENTON, L.F., The sum of log-normal probability distributions. IRE Trans. on communications systems. Vol. CS-8, 1, marzo de 1960.

KUBRAKOV, V.B., MANAENKOVA, S.G., SEMENOV, V.V. y SHERGINA, Z.A., [febrero de 1985] Avtomatizirovannaya sistema ucheta i proektirovaniya seti TV peredatchikov na baze EVM. (Automated computerized system for calculation and planning of a TV transmitter network), - Elektrosvyaz, N° 2, 1985.

O'LEARY, T. y RUTKOWSKI, J. [diciembre de 1982] Combinación de intensidades de campo interferentes múltiples: el método de multiplicación simplificado y sus bases físicas y matemáticas. *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 49, XII, 823-831.

ANEXO I

MÉTODO DE LA MULTIPLICACIÓN SIMPLIFICADA PARA CALCULAR LAS INTENSIDADES DE CAMPO UTILIZABLES (EN RADIODIFUSIÓN SONORA EN MF)

1. Introducción

Con carácter internacional [CCIR, 1961] se ha propuesto determinar la influencia de transmisores interferentes (en el mismo canal, en el canal adyacente y en el canal imagen) por medio de un método de multiplicación simplificada, elaborado por la FCC [Comité ad hoc, 1949 y 1950] y descrito en detalle en [Grosskopf, 1952]. Se explican a continuación las distintas fases del método, sin una profunda justificación teórica, para el usuario práctico.

2. Concepto de intensidad de campo utilizable

La intensidad de campo utilizable, E_u , es una magnitud que caracteriza las condiciones de cobertura. Para calcular la intensidad de campo utilizable es preciso determinar todos los transmisores:

- que se hallan dentro de una distancia definida del transmisor deseado (hasta 800 km de acuerdo con la experiencia, según el valor de Δ_f),
- que pudieran causar interferencia en cuanto a la relación de protección requerida (A_i).

Para los n transmisores interferentes, así determinados, el campo perturbador, E_{si} , viene dado por:

$$E_{si} = P_i + E_{ni(50, T)} + A_i + B_i \quad (6)$$

donde:

$E_{ni(50, T)}$: intensidad de campo (dB(μ V/m)), de la señal no deseada normalizada a una potencia radiada aparente (p.r.a.) de 1 kW, en el 50% de las ubicaciones y durante el $T\%$ del tiempo (de las curvas de intensidad de campo de la Recomendación 370),

P_i : p.r.a. (dB(kW)) del transmisor interferente,

A_i : relación de protección (dB),

B_i : discriminación de la antena del receptor (dB).

La intensidad de campo utilizable, E_u , es función de los n campos perturbadores, E_{si} , y se calcula a partir de la fórmula:

$$p_c = \prod_{i=1}^n L(x_i) \quad (7)$$

siendo:

$$x_i = \frac{E_u - E_{si}}{\sigma_n \sqrt{2}}$$

donde:

p_c : probabilidad de cobertura. Para comenzar el proceso iterativo de cálculo de E_u se parte de un valor de probabilidad de cobertura predeterminado, p_{cp} , por ejemplo $p_{cp} = 0,5$. La probabilidad de cobertura correspondiente al valor de E_u que resulta al final del proceso de iteración es $p_c = p_{cp} = 0,5$, es decir, el 50% de los emplazamientos.

Nota. - p_c puede fijarse para cualquier otro valor de probabilidades de cobertura (por ejemplo, 45% $\rightarrow p_c = 0,45$).

L : integral de probabilidad para una distribución normal:

$$L(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x [\exp(-t^2/2)] dt \quad (8)$$

En esta función x es la diferencia entre los niveles de la intensidad de campo utilizable, E_u , y de campo perturbador, E_n , dividida por σ , desviación típica (con relación al emplazamiento) de la diferencia de nivel resultante.

Se suponen valores idénticos para las desviaciones típicas (con relación al emplazamiento) de los niveles de intensidad de campo interferente y deseado: $\sigma_n = \sigma_s$. Por tanto, la desviación típica de la diferencia de nivel resultante es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_s^2} = \sigma_n \sqrt{2}$$

Para las bandas de frecuencias I a III se supone un valor de $\sigma_n = 8,3$ dB. Para las bandas IV y V, este valor depende de la atenuación debida al terreno, g , y σ se calcula entonces conforme a la fórmula $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$. El factor de corrección de atenuación debida al terreno g (dB) puede obtenerse a partir de Δh (véase la Recomendación 370).

3. Cálculo de la integral de probabilidad

3.1 Evaluación tabular

La integral de probabilidad viene definida por la fórmula:

$$\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x [\exp(-t^2/2)] dt \quad (9)$$

cuyos valores pueden encontrarse en el cuadro I.

Puesto que

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(-t^2/2)] dt = 1$$

y

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 [\exp(-t^2/2)] dt = 1/2$$

se deduce que:

$$L(x) = \frac{\varphi(x)}{2} + 1/2$$

3.2 Evaluación mediante la aproximación de Hastings

Si los cálculos han de realizarse con un computador (o con una calculadora de bolsillo programable o una calculadora de mesa) resulta muy útil la siguiente aproximación racional:

$$\text{para } x \geq 0: \quad L(x) = 1 - \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-x^2/2} H(y) \quad (10)$$

$$\text{para } x < 0: \quad L(x) = 1 - L(-x)$$

$$\text{con:} \quad H(y) = C_5 y^5 + C_4 y^4 + C_3 y^3 + C_2 y^2 + C_1 y^1$$

$$e: y = [1 + 0,2316419 |x|]^{-1}$$

$$C_5 = 1,330274429$$

$$C_4 = -1,821255978$$

$$C_3 = 1,781477937$$

$$C_2 = -0,356563782$$

$$C_1 = 0,319381530$$

La ecuación (10) permite evitar tanto la integración en la ecuación (8) como la utilización de los cuadros al evaluar la integral de probabilidad. El error introducido por esta aproximación es menor de 10^{-7} .

4. Procedimientos prácticos de cálculo para determinar la intensidad de campo utilizable

Como es imposible resolver directamente la ecuación (7) para E_u con un valor predeterminado de p_{cp} (por ejemplo $p_{cp} = 0,5$), debe resolverse en forma iterativa. Comenzamos con un valor inicial para E_u , que, conforme a la experiencia, deberá ser aproximadamente 6 dB mayor que el valor máximo de E_{si} , y determinamos sucesivamente, para cada E_{si} :

$$z_i = E_u - E_{si} = \Delta_i$$

$$x_i = \frac{\Delta_i}{\sigma_n \sqrt{2}} \quad (\text{en las bandas I a III: } x_i = \Delta_i/11,738)$$

$\varphi(x_i)$ a partir del cuadro I

$$L(x_i) = \frac{\varphi(x_i)}{2} + \frac{1}{2}$$

Como se ha supuesto un valor de $\sigma_n = 8,3$ dB para la desviación típica en las bandas I a III, parece oportuno incluir el cuadro II en el que se presenta $L(x_i)$ como función de Δ_i para $\sigma_n = 8,3$ dB. En las bandas IV y V, en las que $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$, también puede utilizarse el cuadro II una vez corregidos los valores de Δ_i de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\Delta'_i = \Delta_i \cdot \frac{8,3}{9,5 + 0,405 g}$$

Luego se determina p_c mediante la ecuación (7). Si p_c es diferente de p_{cp} (por ejemplo, $p_{cp} = 0,5$), el valor obtenido se emplea como base para corregir, dentro del proceso iterativo, el valor inicial de E_u . Por experiencia cabe suponer que esa corrección corresponde aproximadamente a:

$$\Delta E_u \approx \frac{p_{cp} - p_c}{0,05} \text{ dB}$$

A continuación hay que seguir con la determinación de E_u repitiendo, con el valor E_u corregido, la determinación de nuevos valores de Δ_i y $L(x_i)$ para cada E_{si} y de nuevo p_c . Se debe seguir con ese procedimiento hasta que el valor de la corrección ΔE_u sea inferior al límite de precisión. En el cuadro III se da un ejemplo de la determinación iterativa de E_u en presencia de cinco campos perturbadores ($\sigma_n = 8,3$ dB). Los valores de $L(x_i)$ proceden del cuadro II.

CUADRO I - Integral de probabilidad $\varphi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x [\exp(-t^2/2)] dt$

x	φ(x)	x	φ(x)	x	φ(x)	x	φ(x)
0,00	0,0000	0,60	0,4515	1,20	0,7699	1,80	0,9281
01	0,0080	61	0,4581	21	0,7737	81	0,9297
02	0,0160	62	0,4647	22	0,7775	82	0,9312
03	0,0239	63	0,4713	23	0,7813	83	0,9328
04	0,0319	64	0,4778	24	0,7850	84	0,9342
0,05	0,0399	0,65	0,4843	1,25	0,7887	1,85	0,9357
06	0,0478	66	0,4907	26	0,7923	86	0,9371
07	0,0558	67	0,4971	27	0,7959	87	0,9385
08	0,0638	68	0,5035	28	0,7995	88	0,9399
09	0,0717	69	0,5098	29	0,8029	89	0,9412
0,10	0,0797	0,70	0,5161	1,30	0,8064	1,90	0,9426
11	0,0876	71	0,5223	31	0,8098	91	0,9439
12	0,0955	72	0,5285	32	0,8132	92	0,9451
13	0,1034	73	0,5346	33	0,8165	93	0,9464
14	0,1113	74	0,5407	34	0,8198	94	0,9476
0,15	0,1192	0,75	0,5467	1,35	0,8230	1,95	0,9488
16	0,1271	76	0,5527	36	0,8262	96	0,9500
17	0,1350	77	0,5587	37	0,8293	97	0,9512
18	0,1428	78	0,5646	38	0,8324	98	0,9523
19	0,1507	79	0,5705	39	0,8355	99	0,9534
0,20	0,1585	0,80	0,5763	1,40	0,8385	2,00	0,9545
21	0,1663	81	0,5821	41	0,8415	05	0,9596
22	0,1741	82	0,5878	42	0,8444	10	0,9643
23	0,1819	83	0,5935	43	0,8473	15	0,9684
24	0,1897	84	0,5991	44	0,8501	20	0,9722
0,25	0,1974	0,85	0,6047	1,45	0,8529	2,25	0,9756
26	0,2041	86	0,6102	46	0,8557	30	0,9786
27	0,2128	87	0,6157	47	0,8584	35	0,9812
28	0,2205	88	0,6211	48	0,8611	40	0,9836
29	0,2282	89	0,6265	49	0,8638	45	0,9857
0,30	0,2358	0,90	0,6319	1,50	0,8664	2,50	0,9876
31	0,2434	91	0,6372	51	0,8690	55	0,9892
32	0,2510	92	0,6424	52	0,8715	60	0,9907
33	0,2586	93	0,6476	53	0,8740	65	0,9920
34	0,2661	94	0,6528	54	0,8764	70	0,9931
0,35	0,2737	0,95	0,6579	1,55	0,8789	2,75	0,9940
36	0,2812	96	0,6629	56	0,8812	80	0,9949
37	0,2886	97	0,6680	57	0,8836	85	0,9956
38	0,2961	98	0,6729	58	0,8859	90	0,9963
39	0,3035	99	0,6778	59	0,8882	95	0,9968
0,40	0,3108	1,00	0,6827	1,60	0,8904	3,00	0,99730
41	0,3182	01	0,6875	61	0,8926	10	0,99806
42	0,3255	02	0,6923	62	0,8948	20	0,99863
43	0,3328	03	0,6970	63	0,8969	30	0,99903
44	0,3401	04	0,7017	64	0,8990	40	0,99933
0,45	0,3473	1,05	0,7063	1,65	0,9011	3,50	0,99953
46	0,3545	06	0,7109	66	0,9031	60	0,99968
47	0,3616	07	0,7154	67	0,9051	70	0,99978
48	0,3688	08	0,7199	68	0,9070	80	0,99986
49	0,3759	09	0,7243	69	0,9090	90	0,99990
0,50	0,3829	1,10	0,7287	1,70	0,9109	4,00	0,99994
51	0,3899	11	0,7330	71	0,9127		
52	0,3969	12	0,7373	72	0,9146	4,417	1 - 10 ⁻⁵
53	0,4039	13	0,7415	73	0,9164		
54	0,4108	14	0,7457	74	0,9181	4,892	1 - 10 ⁻⁶
0,55	0,4177	1,15	0,7499	1,75	0,9199	5,327	1 - 10 ⁻⁷
56	0,4245	16	0,7540	76	0,9216		
57	0,4313	17	0,7580	77	0,9233		
58	0,4381	18	0,7620	78	0,9249		
59	0,4448	19	0,7660	79	0,9265		
0,60	0,4515	1,20	0,7699	1,80	0,9281		

CUADRO II *

Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$
.0	.50000	7.000	5.0	.66493	4.121	10.0	.80288	2.217	15.0	.89936	1.071	20.0	.95580	.457
.1	.50340	6.932	5.1	.66803	4.074	10.1	.80523	2.188	15.1	.90085	1.054	20.1	.95659	.448
.2	.50680	6.864	5.2	.67112	4.028	10.2	.80757	2.158	15.2	.90233	1.038	20.2	.95737	.440
.3	.51020	6.796	5.3	.67419	3.981	10.3	.80989	2.129	15.3	.90379	1.022	20.3	.95813	.432
.4	.51359	6.729	5.4	.67726	3.936	10.4	.81219	2.101	15.4	.90524	1.005	20.4	.95889	.424
.5	.51699	6.663	5.5	.68031	3.890	10.5	.81448	2.072	15.5	.90667	.989	20.5	.95964	.416
.6	.52038	6.596	5.6	.68335	3.845	10.6	.81675	2.044	15.6	.90808	.974	20.6	.96037	.408
.7	.52378	6.531	5.7	.68638	3.801	10.7	.81900	2.016	15.7	.90948	.958	20.7	.96109	.401
.8	.52717	6.466	5.8	.68939	3.756	10.8	.82124	1.989	15.8	.91086	.943	20.8	.96180	.393
.9	.53056	6.401	5.9	.69239	3.712	10.9	.82345	1.962	15.9	.91222	.928	20.9	.96251	.386
1.0	.53395	6.337	6.0	.69538	3.669	11.0	.82565	1.935	16.0	.91357	.913	21.0	.96320	.379
1.1	.53733	6.273	6.1	.69836	3.626	11.1	.82784	1.908	16.1	.91491	.898	21.1	.96388	.372
1.2	.54071	6.209	6.2	.70132	3.583	11.2	.83000	1.882	16.2	.91623	.884	21.2	.96455	.365
1.3	.54409	6.147	6.3	.70427	3.541	11.3	.83215	1.856	16.3	.91753	.869	21.3	.96521	.358
1.4	.54747	6.084	6.4	.70721	3.499	11.4	.83428	1.830	16.4	.91882	.855	21.4	.96586	.351
1.5	.55084	6.022	6.5	.71013	3.457	11.5	.83639	1.804	16.5	.92009	.841	21.5	.96650	.344
1.6	.55421	5.960	6.6	.71304	3.416	11.6	.83848	1.779	16.6	.92135	.827	21.6	.96713	.338
1.7	.55758	5.899	6.7	.71593	3.375	11.7	.84056	1.754	16.7	.92259	.814	21.7	.96775	.331
1.8	.56094	5.839	6.8	.71881	3.334	11.8	.84262	1.729	16.8	.92382	.800	21.8	.96836	.325
1.9	.56430	5.778	6.9	.72168	3.294	11.9	.84466	1.705	16.9	.92503	.787	21.9	.96896	.318
2.0	.56765	5.719	7.0	.72453	3.254	12.0	.84669	1.681	17.0	.92623	.774	22.0	.96955	.312
2.1	.57099	5.659	7.1	.72737	3.215	12.1	.84869	1.657	17.1	.92742	.761	22.1	.97013	.306
2.2	.57434	5.600	7.2	.73019	3.176	12.2	.85068	1.633	17.2	.92858	.748	22.2	.97071	.300
2.3	.57767	5.542	7.3	.73300	3.137	12.3	.85265	1.610	17.3	.92974	.736	22.3	.97127	.294
2.4	.58100	5.484	7.4	.73579	3.098	12.4	.85461	1.587	17.4	.93088	.723	22.4	.97183	.289
2.5	.58433	5.426	7.5	.73857	3.060	12.5	.85654	1.564	17.5	.93200	.711	22.5	.97237	.283
2.6	.58765	5.369	7.6	.74134	3.023	12.6	.85846	1.541	17.6	.93312	.699	22.6	.97291	.277
2.7	.59096	5.312	7.7	.74408	2.985	12.7	.86036	1.519	17.7	.93421	.687	22.7	.97344	.272
2.8	.59427	5.256	7.8	.74682	2.948	12.8	.86225	1.497	17.8	.93530	.676	22.8	.97396	.266
2.9	.59757	5.200	7.9	.74954	2.912	12.9	.86412	1.475	17.9	.93637	.664	22.9	.97447	.261
3.0	.60086	5.144	8.0	.75224	2.875	13.0	.86596	1.453	18.0	.93742	.653	23.0	.97497	.256
3.1	.60415	5.089	8.1	.75492	2.839	13.1	.86780	1.432	18.1	.93846	.641	23.1	.97546	.251
3.2	.60743	5.035	8.2	.75760	2.804	13.2	.86961	1.411	18.2	.93949	.630	23.2	.97595	.246
3.3	.61070	4.980	8.3	.76025	2.768	13.3	.87141	1.390	18.3	.94051	.619	23.3	.97643	.241
3.4	.61396	4.926	8.4	.76289	2.733	13.4	.87319	1.369	18.4	.94151	.609	23.4	.97690	.236
3.5	.61722	4.873	8.5	.76551	2.699	13.5	.87495	1.349	18.5	.94250	.598	23.5	.97736	.231
3.6	.62046	4.820	8.6	.76812	2.664	13.6	.87670	1.329	18.6	.94347	.588	23.6	.97781	.227
3.7	.62370	4.768	8.7	.77071	2.630	13.7	.87843	1.309	18.7	.94443	.577	23.7	.97826	.222
3.8	.62693	4.715	8.8	.77328	2.597	13.8	.88014	1.289	18.8	.94538	.567	23.8	.97870	.217
3.9	.63015	4.664	8.9	.77584	2.563	13.9	.88183	1.270	18.9	.94632	.557	23.9	.97913	.213
4.0	.63336	4.612	9.0	.77838	2.530	14.0	.88351	1.251	19.0	.94724	.547	24.0	.97956	.209
4.1	.63657	4.561	9.1	.78091	2.497	14.1	.88517	1.232	19.1	.94815	.538	24.1	.97997	.204
4.2	.63976	4.511	9.2	.78342	2.465	14.2	.88681	1.213	19.2	.94905	.528	24.2	.98038	.200
4.3	.64294	4.461	9.3	.78591	2.433	14.3	.88844	1.195	19.3	.94994	.519	24.3	.98078	.196
4.4	.64611	4.411	9.4	.78838	2.401	14.4	.89005	1.176	19.4	.95081	.509	24.4	.98118	.192
4.5	.64928	4.362	9.5	.79084	2.370	14.5	.89164	1.158	19.5	.95167	.500	24.5	.98157	.188
4.6	.65243	4.313	9.6	.79328	2.339	14.6	.89322	1.140	19.6	.95252	.491	24.6	.98195	.184
4.7	.65557	4.264	9.7	.79571	2.308	14.7	.89478	1.123	19.7	.95336	.482	24.7	.98232	.180
4.8	.65870	4.216	9.8	.79811	2.277	14.8	.89632	1.105	19.8	.95418	.474	24.8	.98269	.176
4.9	.66182	4.168	9.9	.80050	2.247	14.9	.89785	1.088	19.9	.95500	.465	24.9	.98305	.173

* Por razones prácticas se publica la misma versión de este cuadro en los tres idiomas (para indicar los decimales se utiliza un punto en lugar de una coma).



CUADRO II (continuación)

Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$	Δ	$L(x)$	$-\log L(x)$
25.0	.98341	.169	30.0	.99470	.054	35.0	.99857	.014	40.0	.99967	.003	45.0	.99994	.001
25.1	.98376	.165	30.1	.99483	.052	35.1	.99861	.014	40.1	.99968	.003	45.1	.99994	.001
25.2	.98410	.162	30.2	.99496	.051	35.2	.99864	.014	40.2	.99969	.003	45.2	.99994	.001
25.3	.98443	.158	30.3	.99508	.050	35.3	.99868	.013	40.3	.99970	.003	45.3	.99994	.001
25.4	.98476	.155	30.4	.99520	.049	35.4	.99872	.013	40.4	.99971	.003	45.4	.99995	.001
25.5	.98509	.152	30.5	.99532	.047	35.5	.99875	.013	40.5	.99972	.003	45.5	.99995	.001
25.6	.98541	.148	30.6	.99543	.046	35.6	.99879	.012	40.6	.99973	.003	45.6	.99995	.001
25.7	.98572	.145	30.7	.99554	.045	35.7	.99882	.012	40.7	.99974	.003	45.7	.99995	.000
25.8	.98603	.142	30.8	.99565	.044	35.8	.99886	.012	40.8	.99975	.003	45.8	.99995	.000
25.9	.98633	.139	30.9	.99576	.043	35.9	.99889	.011	40.9	.99975	.002	45.9	.99995	.000
26.0	.98662	.136	31.0	.99587	.042	36.0	.99892	.011	41.0	.99976	.002	46.0	.99996	.000
26.1	.98691	.133	31.1	.99597	.041	36.1	.99895	.011	41.1	.99977	.002	46.1	.99996	.000
26.2	.98719	.130	31.2	.99607	.040	36.2	.99898	.010	41.2	.99978	.002	46.2	.99996	.000
26.3	.98747	.127	31.3	.99617	.039	36.3	.99901	.010	41.3	.99978	.002	46.3	.99996	.000
26.4	.98775	.125	31.4	.99626	.038	36.4	.99904	.010	41.4	.99979	.002	46.4	.99996	.000
26.5	.98802	.122	31.5	.99636	.037	36.5	.99906	.009	41.5	.99980	.002	46.5	.99996	.000
26.6	.98828	.119	31.6	.99645	.036	36.6	.99909	.009	41.6	.99980	.002	46.6	.99996	.000
26.7	.98854	.116	31.7	.99654	.035	36.7	.99912	.009	41.7	.99981	.002	46.7	.99997	.000
26.8	.98879	.114	31.8	.99663	.034	36.8	.99914	.009	41.8	.99982	.002	46.8	.99997	.000
26.9	.98904	.111	31.9	.99671	.033	36.9	.99917	.008	41.9	.99982	.002	46.9	.99997	.000
27.0	.98928	.109	32.0	.99680	.032	37.0	.99919	.008	42.0	.99983	.002	47.0	.99997	.000
27.1	.98952	.106	32.1	.99688	.032	37.1	.99921	.008	42.1	.99983	.002	47.1	.99997	.000
27.2	.98976	.104	32.2	.99696	.031	37.2	.99924	.008	42.2	.99984	.002	47.2	.99997	.000
27.3	.98999	.102	32.3	.99704	.030	37.3	.99926	.007	42.3	.99984	.002	47.3	.99997	.000
27.4	.99021	.099	32.4	.99711	.029	37.4	.99928	.007	42.4	.99985	.002	47.4	.99997	.000
27.5	.99043	.097	32.5	.99719	.028	37.5	.99930	.007	42.5	.99985	.001	47.5	.99997	.000
27.6	.99065	.095	32.6	.99726	.028	37.6	.99932	.007	42.6	.99986	.001	47.6	.99997	.000
27.7	.99086	.093	32.7	.99733	.027	37.7	.99934	.007	42.7	.99986	.001	47.7	.99998	.000
27.8	.99107	.091	32.8	.99740	.026	37.8	.99936	.006	42.8	.99987	.001	47.8	.99998	.000
27.9	.99127	.089	32.9	.99747	.026	37.9	.99938	.006	42.9	.99987	.001	47.9	.99998	.000
28.0	.99147	.087	33.0	.99753	.025	38.0	.99940	.006	43.0	.99988	.001	48.0	.99998	.000
28.1	.99167	.085	33.1	.99760	.024	38.1	.99941	.006	43.1	.99988	.001	48.1	.99998	.000
28.2	.99186	.083	33.2	.99766	.024	38.2	.99943	.006	43.2	.99988	.001	48.2	.99998	.000
28.3	.99205	.081	33.3	.99772	.023	38.3	.99945	.006	43.3	.99989	.001	48.3	.99998	.000
28.4	.99223	.079	33.4	.99778	.022	38.4	.99946	.005	43.4	.99989	.001	48.4	.99998	.000
28.5	.99241	.077	33.5	.99784	.022	38.5	.99948	.005	43.5	.99989	.001	48.5	.99998	.000
28.6	.99259	.075	33.6	.99790	.021	38.6	.99950	.005	43.6	.99990	.001	48.6	.99998	.000
28.7	.99276	.073	33.7	.99795	.021	38.7	.99951	.005	43.7	.99990	.001	48.7	.99998	.000
28.8	.99293	.072	33.8	.99801	.020	38.8	.99953	.005	43.8	.99990	.001	48.8	.99998	.000
28.9	.99309	.070	33.9	.99806	.020	38.9	.99954	.005	43.9	.99991	.001	48.9	.99998	.000
29.0	.99326	.068	34.0	.99811	.019	39.0	.99955	.005	44.0	.99991	.001	49.0	.99999	.000
29.1	.99341	.067	34.1	.99816	.019	39.1	.99957	.004	44.1	.99991	.001	49.1	.99999	.000
29.2	.99357	.065	34.2	.99821	.018	39.2	.99958	.004	44.2	.99992	.001	49.2	.99999	.000
29.3	.99372	.064	34.3	.99826	.018	39.3	.99959	.004	44.3	.99992	.001	49.3	.99999	.000
29.4	.99387	.062	34.4	.99831	.017	39.4	.99961	.004	44.4	.99992	.001	49.4	.99999	.000
29.5	.99402	.061	34.5	.99835	.017	39.5	.99962	.004	44.5	.99992	.001	49.5	.99999	.000
29.6	.99416	.059	34.6	.99840	.016	39.6	.99963	.004	44.6	.99993	.001	49.6	.99999	.000
29.7	.99430	.058	34.7	.99844	.016	39.7	.99964	.004	44.7	.99993	.001	49.7	.99999	.000
29.8	.99444	.056	34.8	.99849	.015	39.8	.99965	.004	44.8	.99993	.001	49.8	.99999	.000
29.9	.99457	.055	34.9	.99853	.015	39.9	.99966	.003	44.9	.99993	.001	49.9	.99999	.000

CUADRO III

Aproximación		1		2		3	
i	E_{ui} (dB)	$E_u = 78$ dB		$E_u = 76,6$ dB		$E_u = 76,44$ dB	
		z_i (dB)	$L(x_i)$	z_i (dB)	$L(x_i)$	z_i (dB)	$L(x_i)$
1	64	14	0,8835	12,6	0,8585	12,44	0,8554
2	72	6	0,6954	4,6	0,6524	4,44	0,6474
3	60	18	0,9374	16,6	0,9214	16,44	0,9193
4	50	28	0,9915	26,6	0,9883	26,44	0,9878
5	45	33	0,9975	31,6	0,9964	31,44	0,9963
p_c		0,5696		0,5082		0,5010	
ΔE_u (dB)		$\approx -1,4$		$\approx -0,16$		$\approx -0,02$	

El resultado del cálculo iterativo es $E_u = 76,42$ dB.

La necesidad de efectuar numerosas multiplicaciones con números de cuatro cifras como mínimo aconseja simplificar aun más el método, sustituyendo $L(x_i)$ por los logaritmos de su valor recíproco. Así se reducirá la labor de cálculo a sumar los valores de $-\log L(x_i)$. Para facilitar todavía más el cálculo de ΔE_u conviene elegir una base para esos logaritmos de manera que ΔE_u se obtenga inmediatamente comparando la suma con $-\log p_{cp}$ (logaritmo de la misma base), por ejemplo, $-\log 0,5$ (50%).

Para mayor comodidad en el cuadro II se dan los logaritmos de $-L(x_i)$, que se utilizan a modo de ejemplo en el cuadro IV. Los problemas de interferencia inherentes, y los resultados correspondientes son idénticos en los cuadros III y IV.

CUADRO IV

Aproximación		1		2		3			
i	E_{ui} (dB)	$E_u = 78$ dB		$E_u = 76,7$ dB		$E_u = 76,45$ dB			
		z_i (dB)	$-\log L(x_i)$	z_i (dB)	$-\log L(x_i)$	z_i (dB)	$-\log L(x_i)$		
1	64	14	1,251	12,7	1,519	12,45	1,575		
2	72	6	3,669	4,7	4,264	4,45	4,386		
3	60	18	0,653	16,7	0,814	16,45	0,848		
4	50	28	0,087	26,7	0,116	26,45	0,123		
5	45	33	0,025	31,7	0,035	31,45	0,037		
-		$-\log p_c$ $-\log 0,5$ (1)		5,685 -7,000		6,748 -7,000		6,969 -7,000	
ΔE_u (dB)		$\approx -1,3$		$\approx -0,25$		$\approx -0,03$			

(1) Para $p_{cp} = 0,5$;

para otros valores de p_{cp} : $-\log p_{cp} = (-7 \log p_{cp})/\log 2$;

por ejemplo, para $p_{cp} = 0,45$: $-\log p_{cp} = 8,064$.

El resultado de este cálculo iterativo es $E_u = 76,42$ dB.

Además del procedimiento descrito, existen algunas otras formas de utilizar el método de multiplicación simplificado, que figuran en una descripción más completa del método [EBU, 1984]. La elección del procedimiento puede depender de los medios de cálculo de que disponga el usuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CCIR [23 de marzo de 1961] Informe de la reunión de expertos del CCIR para la preparación de la Conferencia Europea de Radiodifusión por ondas métricas y decimétricas. Reunión de Expertos del CCIR, Cannes, Doc. 64.
- COMITE AD HOC [1949 y 1950] Report of the ad hoc Committee for the Evaluation of the radio propagation factors concerning the television and frequency modulation broadcasting service in the frequency range between 50 and 250 Mc. Volumen I, 31 de mayo de 1949; Volumen II, 7 de julio de 1950; apéndices B, C, D, E; referencias E y L.
- EBU [1984] VHF/FM planning parameters and methods. EBU Tech. 3236.
- GROSSKOPF, J. [1952] Die Verfahren zur Ermittlung der Versorgungswahrscheinlichkeit im Feld eines von beliebig vielen Störsendern beeinflussten Nutzsenders (Métodos para determinar las probabilidades de cobertura en el campo de un transmisor deseado que recibe interferencia de cualquier número de transmisores interferentes). *Techn. Hausmitteilungen des NWDR*, Sonderheft, 18-34.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

- [1978-82]: 10/237 (Alemania (República Federal de)); 10/240 (UER).
- [1982-86]: 10/16 (EBU); 10/54 (Alemania (República Federal de)); 10/191 (Alemania (República Federal de)); 10/206 (Reino Unido); 10/217 (España); 10/266 (UER).

ANEXO II

EMPLEO DEL MÉTODO LOG-NORMAL PARA EL CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE
CAMPO UTILIZABLE (EN LA RADIODIFUSIÓN SONORA Y DE
TELEVISIÓN CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA)

1. Orden del cálculo manual de E_{u1} mediante el método log-normal. Los símbolos empleados se definen en el punto 3.2.

El cálculo se efectúa en el orden siguiente:

- a) Se encuentra un valor mediano de la interferencia resultante de n interferencias en el punto objeto de estudio y su excursión media cuadrática

$$E_r = 0,1152 \sigma^2 + 10 \log \left(\sum_i^n M_{si} \right) - 5 \log U \quad \text{dB}$$

$$\sigma_r = 6,58 \sqrt{\log U} \quad \text{dB}$$

Para las bandas de frecuencias I a III se supone un valor de $\sigma_n = 8,3$ dB. Para las bandas IV y V, este valor depende de la atenuación debida al terreno, g , y σ se calcula entonces conforme a la fórmula $\sigma_n = 9,5 + 0,405 g$. El factor de corrección de atenuación debida al terreno g (dB) puede obtenerse a partir de Δh (véase la Recomendación 370).

- b) Tomando $E_{u1} = E_r$ (véase la nota).
- c) Se determina la probabilidad de que $E_{u1} \geq E_r$:

$$P_1 = L(\Delta E_r) = 0,5 + \frac{\varphi(\Delta E_r)}{2}$$

$$\text{donde: } \Delta E_r = \frac{E_{u1} - E_r}{\sigma_m}; \quad \sigma_m = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_r^2}$$

La probabilidad $\varphi(\Delta E_r)$ puede determinarse mediante el punto 3 del anexo I, de manera que $x = \Delta E_r$.

d) Se determina la probabilidad de que $E_{u1} \geq E_{\text{mín}}$:

$$p_2 = L(\Delta E_{\text{mín}}) = 0,5 + \frac{\varphi(\Delta E_{\text{mín}})}{2}$$

$$\text{donde: } \Delta E_{\text{mín}} = \frac{E_{u1} - E_{\text{mín}}}{\sigma}$$

La probabilidad $\varphi(\Delta E_{\text{mín}})$ puede determinarse mediante el punto 3 del anexo I, de manera que $x = \Delta E_{\text{mín}}$.

e) Se determina la probabilidad del cumplimiento simultáneo de ambas desigualdades:

$$P_c = p_1 \cdot p_2$$

f) Si el valor obtenido para p_c cumple el valor dado $p_{cp} = 0,5 \pm 0,01$, entonces se completa el cálculo, y $E_u = E_{u1}$. De otro modo, se encuentra el valor

$$E_{u2} = E_{u1} + \frac{0,5 - p_c}{0,05}$$

y se repite el cálculo a partir del segundo punto con el nuevo valor de E_{u2} , reiterando el proceso hasta obtener la precisión requerida.

Nota.- Cabe señalar que en los casos en que $E_{si \text{ máx}} - E_{\text{mín}} \geq 16,5$ dB el valor de intensidad de campo utilizable desconocido es igual al valor obtenido para E_r , y no se precisan otros cálculos.

2. Ejemplos de cálculo manual de la intensidad de campo utilizable

Se ofrece un ejemplo del cálculo de la intensidad de campo utilizable para los mismos valores de E_{si} del cuadro III del anexo I. Se presentan éstos en el cuadro V con respecto a dos valores diferentes de $E_{\text{mín}}$: 50 y 57 dB.

El cuadro V muestra que, después de calcular la interferencia resultante, E_r , equivalente a n campos interferentes E_{si} , el cálculo de la intensidad de campo utilizable E_u exigirá un mínimo número de pasos según la correlación del valor obtenido para E_r con el valor de $E_{\text{mín}}$.

CUADRO V

1. Cálculo del valor mediano de la interferencia resultante y su desviación típica			
i	E_{si} , dB	$E_r = 0,1152 \sigma^2 + 10 \log \sum_i M_{si} - 5 \log U$, dB	$\sigma_r = 6,58(\log U)^{1/2}$, dB
1	64	73,71	7,85
2	72		
3	60		
4	50		
5	45		

2. Cálculo del valor de E_u cuando $E_{mín} = 50$ dB				
1) Aproximación $E_{u1} = E_r = 73,71$ dB				
$\Delta E_r = \frac{E_{u1} - E_r}{\sigma_m}$	$L(\Delta E_r)$	$\Delta E_{mín} = \frac{E_{u1} - E_{mín}}{\sigma}$	$L(\Delta E_{mín})$	$p = L(\Delta E_r) L(\Delta E_{mín})$
0	0,5	2,86	0,9978	0,4989
$E_u = E_{u1} + \frac{0,5-p_c}{0,05} = 73,71 + 0,02 = 73,73$ dB				

3. Cálculo del valor de E_u cuando $E_{mín} = 57$ dB				
1) Aproximación $E_{u1} = E_r = 73,71$ dB				
0	0,5	2,01	0,9772	0,488
$E_{u2} = E_{u1} + \frac{0,5-p_c}{0,05} = 73,71 + 0,23 = 73,94$ dB				
2) Aproximación $E_{u2} = 73,94$ dB				
0,02	0,508	2,04	0,9798	0,498
$E_u = E_{u2} + \frac{0,5-p_c}{0,05} = 73,94 + 0,04 = 73,98$ dB				

El Cuadro VI muestra el ejemplo de cálculo de la intensidad de campo utilizable empleando el método log-normal simplificado (los valores utilizados para E_{si} , E_{min} y σ son los mismos que los del Cuadro V).

CUADRO VI

Cálculo de la media de la intensidad de campo resultante

i	E_{si} , dB	$U_s = \frac{(k-1)(\sum_i M_i^2 + M_{min}^2)}{(\sum_i M_i + M_{min})^2} + 1$	$E_{rs} = 0,1152 \sigma^2 + 10 \lg(\sum_i M_i + M_{min}) - 5 \lg U_s$
I	64		I. $E_{min} = 50$ dB
2	72	$U_s = 26,2378$	$E_{rs} = 73,73$ dB
3	60		
4	50		2. $E_{min} = 57$ dB
5	45	$U_s = 25,2356$	$E_{rs} = 73,95$ dB

Comparando los Cuadros V y VI puede verse que aplicando el método log-normal simplificado mediante un procedimiento no iterativo se obtienen unos valores de intensidad de campo utilizables idénticos a los obtenidos aplicando el método log-normal.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1986-90]: 10/61 (URSS).

[1986-90]: 10/258 (URSS).