



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**K.62**

(02/2004)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS  
INTERFERENCIAS

---

**Evaluación de la conformidad de las emisiones  
radiadas a nivel de sistema mediante modelos  
matemáticos**

Recomendación UIT-T K.62

---



## **Recomendación UIT-T K.62**

### **Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos**

#### **Resumen**

En esta Recomendación se describe un método que podrán utilizar los operadores de telecomunicaciones para evaluar la conformidad de las emisiones radiadas por los sistemas de telecomunicaciones.

Normalmente, los operadores de telecomunicaciones construyen sus sistemas utilizando muchos equipos, cada uno de ellos diseñado para cumplir unos requisitos de compatibilidad electromagnética (EMC) diferentes, en particular las emisiones radiadas. Esto significa que los sistemas tienen normalmente diversas fuentes de emisión (es decir, equipos independientes) en una serie de frecuencias comunes. Lo anterior es cierto si el sistema contiene muchos equipos del mismo tipo o muchos tipos de equipo distintos.

En este tipo de sistemas, la superposición de estas múltiples emisiones puede llegar a producir un nivel de emisión del sistema superior al límite máximo de emisión del sistema, lo cual es un problema fundamental para los operadores de telecomunicaciones que desean demostrar la conformidad de las emisiones radiadas por sus sistemas.

En esta Recomendación se describe un método estadístico para evaluar la conformidad de las emisiones radiadas por los sistemas. El método que se presenta consiste en aplicar un método estadístico a las variables básicas conocidas por el operador, lo que permite describir el nivel de emisiones del sistema en la forma de distribuciones de probabilidad y de probabilidad acumulada.

Gracias a estas distribuciones es posible expresar la conformidad del nivel de emisión del sistema con respecto a un cierto límite como un nivel de aceptación estadístico (en lugar de un categórico "aceptable" o "inaceptable"). Se propone que para la conformidad se utilice un nivel de aceptación de 80%, con objeto de armonizar el método adoptado para los equipos de producción en serie en el marco de CISPR 22.

El método presentado también pueden utilizarlo otras organizaciones que construyan o exploten otros sistemas formados por la integración de muchos equipos electrónicos digitales cuando cada uno de ellos cumple con el límite propio de emisiones radiadas.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T K.62 fue aprobada el 29 de febrero de 2004 por la Comisión de Estudio 5 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2004

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
3 Términos y definiciones .....	2
4 Abreviaturas y acrónimos .....	3
5 Principios generales .....	3
6 Método .....	5
6.1 Mapa del sistema .....	6
6.2 Composición del sistema .....	7
6.3 Emisiones del equipo .....	7
6.4 Frecuencias de emisión comunes .....	8
6.5 Puntos de evaluación .....	8
6.6 Matriz de separación .....	8
6.7 Método de evaluación .....	8
Apéndice I – Ejemplos de distribuciones .....	11
I.1 N = 2 .....	11
I.2 N = 3 .....	12
I.3 N = 4 .....	13
I.4 N = 5 .....	14
I.5 N = 10 .....	15
I.6 N = 100 .....	16
I.7 Estudio de las distribuciones de probabilidad .....	17

## **Introducción**

Normalmente, los operadores de telecomunicaciones construyen sus sistemas utilizando muchos equipos, cada uno de ellos diseñado para cumplir unos requisitos de compatibilidad electromagnética (EMC) diferentes, en particular las emisiones radiadas. Esto significa que un sistema tiene normalmente diversas fuentes de emisión (es decir, equipos independientes) en una serie de frecuencias comunes. Lo anterior es cierto si el sistema contiene muchos equipos del mismo tipo o muchos tipos de equipo distintos.

Se espera que el sistema en su totalidad cumpla con el límite de emisiones radiadas. Este límite puede ser el mismo o diferente del que se aplica a cada uno de los elementos constituyentes del equipo. Para cada frecuencia de emisión común, la existencia de fuentes individuales dentro del sistema puede causar que el nivel de emisión del sistema sea superior al de cada equipo por separado.

En esta Recomendación se presenta un método que permite evaluar las emisiones radiadas sin realizar mediciones prácticas. El método es especialmente adecuado para el análisis de sistemas que son físicamente muy grandes, y para los cuales la realización de pruebas prácticas es demasiado costosa y difícil de realizar.

## Recomendación UIT-T K.62

### Evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos

#### 1 Alcance

En esta Recomendación se describe un procedimiento para demostrar la conformidad de las emisiones de RF radiadas por sistemas de telecomunicaciones.

Normalmente, los operadores de telecomunicaciones construyen sus sistemas utilizando muchos equipos, cada uno de ellos diseñado para cumplir unos requisitos de compatibilidad electromagnética (EMC, *electromagnetic compatibility*) diferentes, en particular las emisiones radiadas. Esto significa que los sistemas tienen normalmente diversas fuentes de emisión (es decir, equipos independientes) en una serie de frecuencias comunes. Lo anterior es cierto si el sistema contiene muchos equipos del mismo tipo o muchos tipos de equipo distintos.

En este tipo de sistemas, la superposición de estas múltiples emisiones puede llegar a producir un nivel de emisión del sistema superior al límite máximo de emisión del sistema, lo cual es un problema fundamental para los operadores de telecomunicaciones que desean demostrar la conformidad de las emisiones radiadas por sus sistemas.

En esta Recomendación se describe un método estadístico para evaluar la conformidad de las emisiones radiadas por los sistemas. El método que se presenta consiste en aplicar un método estadístico a las variables básicas conocidas por el operador, lo que permite describir el nivel de emisiones del sistema en la forma de distribuciones de probabilidad y de probabilidad acumulada.

Gracias a estas distribuciones es posible expresar la conformidad del nivel de emisión del sistema con respecto a un cierto límite como un nivel de aceptación estadístico (en lugar de un categórico "aceptable" o "inaceptable"). Se propone que para la conformidad se utilice un nivel de aceptación de 80%, con objeto de armonizar el método adoptado para los equipos de producción en serie en el marco de CISPR 22.

El método presentado también pueden utilizarlo otras organizaciones que construyan o exploten otros sistemas formados por la integración de muchos equipos electrónicos digitales cuando cada uno de ellos cumple con el límite propio de emisiones radiadas.

En esta Recomendación no se definen los límites de emisiones radiadas u otros métodos de medición aplicables a los sistemas de telecomunicaciones.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [1] CISPR 22 (1997), *Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and method of measurement*.
- [2] Recomendación UIT-R P.525-2 (1994), *Cálculo de la atenuación en el espacio libre*.
- [3] Recomendación UIT-R P.526-8 (2003), *Propagación por difracción*.

### 3 Términos y definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

**3.1 equipo:** En esta Recomendación por "equipo" se entiende todo elemento que constituye un bloque básico del sistema. Por lo general, el equipo lo suministra un fabricante tercera parte al operador de telecomunicaciones y se suele vender por separado. Por esa razón, los equipos se han diseñado para cumplir los requisitos de EMC locales, en particular las emisiones radiadas.

**3.2 sistema:** En esta Recomendación, por "sistema" se entiende un elemento formado por integración de varios equipos, ubicados en el mismo lugar y que juntos ofrecen una determinada función. Todos los cables utilizados para interconectar los equipos que constituyen el sistema son también parte del mismo. Los cables que interconectan un sistema con los demás sistemas no se consideran parte del sistema.

**3.3 nivel de emisión del sistema:** Nivel de emisión generado por la superposición de las emisiones radiadas en una frecuencia común por todos los equipos que constituyen el sistema.

En el marco de esta Recomendación este término se representa matemáticamente mediante el símbolo  $E_S$ .

**3.4 distribución de probabilidad:** La distribución de probabilidad de una variable continua y desconocida  $x$ , tal que  $x_{min} \leq x \leq x_{máx}$ , se escribe como  $p(x)$ . La distribución de probabilidad representa la probabilidad (es decir, la frecuencia relativa de ocurrencia) de que la variable exista dentro del intervalo  $x$  y  $x + dx$ .

Por definición,

$$\int_{x_{min}}^{x_{máx}} p(x) dx = 1$$

**3.5 distribución de probabilidad acumulada:** La distribución de probabilidad acumulada de una variable continua desconocida,  $x$ , tal que  $x_{min} \leq x \leq x_{máx}$ , se escribe mediante  $CP(x)$ . La distribución de probabilidad acumulada representa la probabilidad (es decir, la frecuencia relativa de ocurrencia) de que la variable  $x$  exista en el intervalo:

$$x_{min} \leq x \leq x'$$

donde el valor de  $x'$  está comprendido en la gama  $x_{min} \leq x \leq x_{máx}$

Por definición,

$$CP(x) = \int_{x_{min}}^{x'} p(x) dx$$

**3.6 probabilidad de conformidad:** La probabilidad (es decir, la frecuencia relativa de ocurrencia) de que el nivel de emisión del sistema,  $E_S$ , esté comprendido en el intervalo:

$$E_{Smin} \leq E_S \leq E_L$$

siendo:

$E_{Smin}$  el límite inferior (es decir, el valor mínimo) del nivel de emisión del sistema

$E_L$  el límite máximo de emisión del sistema

La probabilidad de conformidad es por consiguiente la probabilidad de que el nivel de emisión del sistema cumpla con el límite máximo de emisión del sistema.



La probabilidad de conformidad es igual al valor de la probabilidad acumulada para  $E_S = E_L$ , es decir:

$$\text{Probabilidad de conformidad} = \int_{E_{S\text{mín}}}^{E_L} p(E_S) dE_S$$

#### 4 Abreviaturas y acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

CPD	Distribución de probabilidad acumulada ( <i>cumulative probability distribution, CPD</i> )
EMC	Compatibilidad electromagnética ( <i>electromagnetic compatibility</i> )
ITE	Equipo de tecnología de la información ( <i>information technology equipment</i> )
PD	Distribución de probabilidad ( <i>probability distribution</i> )
RF	Radiofrecuencia ( <i>radio frequency</i> )

#### 5 Principios generales

Cuando un sistema está formado por varios equipos y cada uno de ellos emite a una misma frecuencia, la superposición de estas múltiples emisiones puede llegar a causar que el nivel de emisión del sistema sea mayor que el nivel típico de emisión del equipo. Éste es uno de los principales problemas que se le plantean a los operadores de telecomunicaciones que tratan de actuar de manera responsable y gestionar la compatibilidad electromagnética de sus sistemas.

Si se conocen los niveles de emisión de cada uno de los equipos que forman el sistema (a una cierta distancia de medición conocida) para cada frecuencia de emisión común, existen métodos matemáticos para predecir el nivel de emisión radiada por el sistema en esa frecuencia común.

Supóngase que en un determinado punto se están midiendo un cierto número,  $N$ , de emisiones RF radiadas a una determinada frecuencia común,  $f$ . Cada emisión radiada en el punto de medición se puede representar en el dominio del tiempo mediante una función coseno. La  $i$ -ésima emisión radiada se expresa del modo siguiente:

$$E_i(t) = E_{0i} \cos(\alpha \pm \omega t) \quad (1)$$

siendo:

$E_i(t)$  nivel de emisión radiada instantáneo debido a la  $i$ -ésima emisión radiada en un instante  $t$  en el punto de medición

$E_{0i}$  amplitud de la  $i$ -ésima emisión radiada en el punto de medición

$\alpha_i$  diferencia de fase entre la  $i$ -ésima emisión radiada y la de referencia en el punto de medición

$$\omega = 2\pi f$$

La combinación de estas emisiones radiadas en el punto de medición también puede expresarse mediante una función coseno en la misma frecuencia, a saber:

$$E_0(t) = E_0 \cos(\alpha \pm \omega t) \quad (2)$$

siendo:

$E_0(t)$  el nivel de emisión radiada combinada instantáneo en el instante  $t$  en el punto de medición

$E_0$  la amplitud del nivel de emisión radiada combinada

$\alpha$  diferencia de fase entre el nivel de emisión radiada combinada y la de referencia en el punto de medición

y

$$E_0^2 = \sum_{i=1}^N E_{0i}^2 + 2 \sum_{j>i}^N \sum_{i=1}^N E_{0i} E_{0j} \cos(\alpha_i - \alpha_j) \quad (3)$$

Examinando detenidamente esta ecuación es posible observar que para conocer la amplitud del nivel de emisión radiada combinada,  $E_0$ , es necesario conocer dos datos de cada emisión radiada:

- la amplitud,  $E_{0i}$ ;
- la diferencia de fase,  $\alpha_i$ , con respecto a la referencia.

Si bien el operador de telecomunicaciones puede, por lo general, conocer el valor de la amplitud,  $E_{0i}$  en el punto de medición, en cambio no puede conocer el valor de la fase en ese mismo punto. Es decir, el operador sólo dispone de la mitad de la información necesaria para utilizar esta ecuación. Por consiguiente, el método matemático convencional no es el ideal para solucionar este problema.

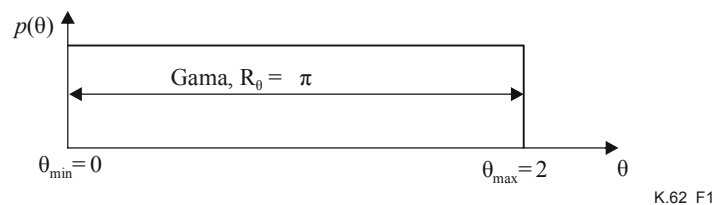
El operador de telecomunicaciones siempre puede utilizar los métodos matemáticos convencionales para determinar el nivel superior de emisión del sistema, es decir, el nivel de emisión del sistema que se genera cuando la emisión de cada uno de los equipos que componen el sistema llegan en fase al punto de medición. Ahora bien, no se recomienda utilizar el nivel superior de emisión del sistema para determinar la conformidad de las emisiones RF radiadas por los sistemas.

Si no se dispone de información más concreta, puede suponerse que el valor de la fase correspondiente a cada emisión radiada:

- puede adoptar cualquier valor dentro de su gama de valores; y
- es muy probable que lo haga.

Éstas son las dos propiedades que, desde el punto de vista matemático, definen una variable aleatoria. Por consiguiente, es razonable suponer que el valor de la fase de cada emisión radiada es aleatoria.

Examinando la ecuación (3) se observa que es una ecuación periódica de periodo igual a  $2\pi$ , es decir, los valores únicos se obtienen cuando el valor de la fase está comprendido entre  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ . Esto significa que la fase ya no se puede describir mediante un valor finito y conocido. Por el contrario, se describe mediante una PD,  $p(\theta)$ . De acuerdo con las propiedades matemáticas de  $\theta$  indicadas antes, en la figura 1 se representa la PD, conocida como distribución de probabilidad aleatoria o distribución de probabilidad rectangular (debido a su forma).



**Figura 1/K.62 – Distribución de probabilidad rectangular/aleatoria**

El valor de  $p(\theta)$  se obtiene a partir de la definición de PD aleatoria:

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi} \quad (4)$$

La utilización de una PD para representar el valor de cada fase en la ecuación (3) permite obtener la distribución de probabilidad correspondiente al nivel de emisión del sistema.

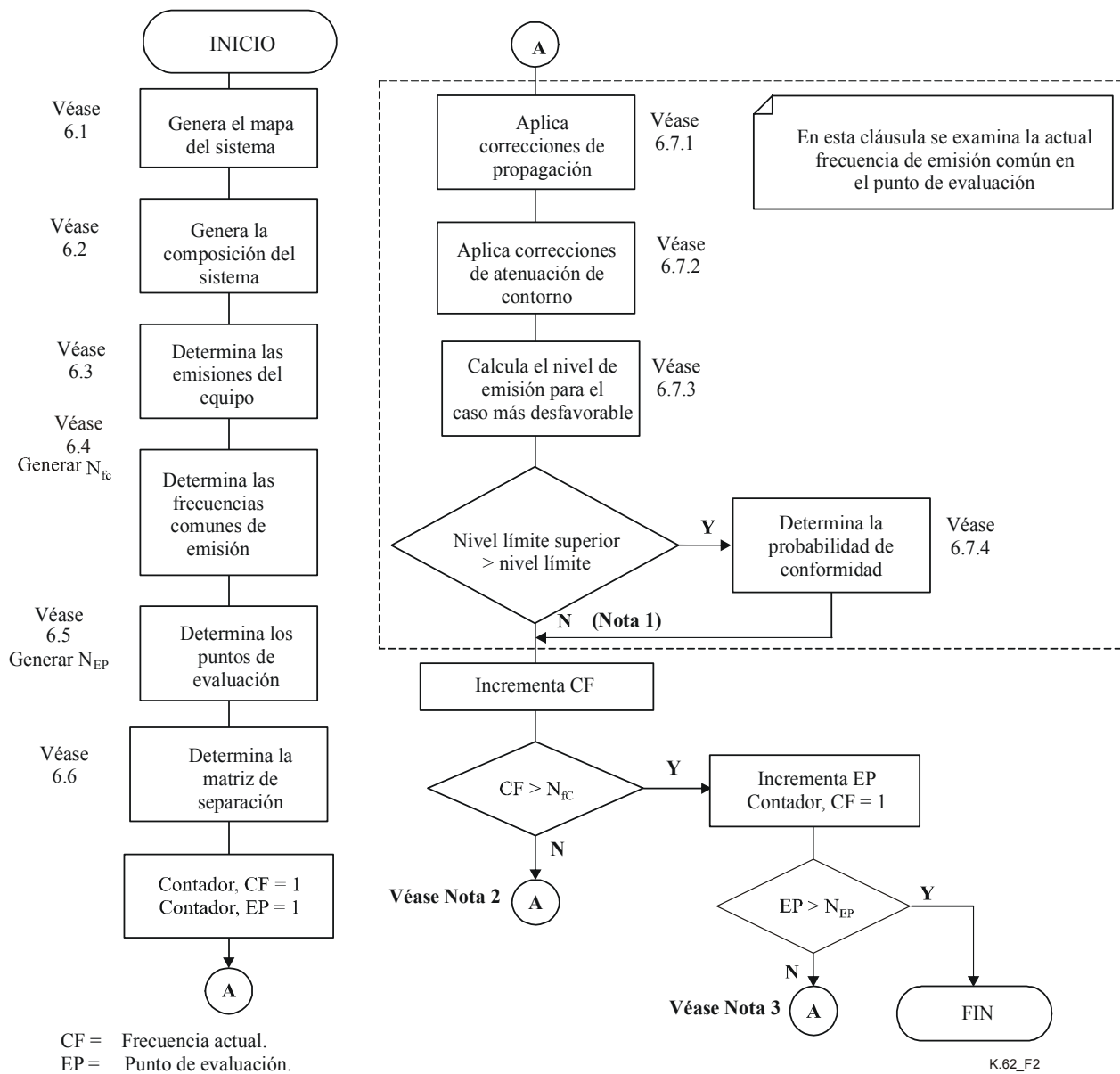
Una vez se conoce la PD se puede obtener la CPD correspondiente al nivel de emisión del sistema. Cuando el nivel superior de emisión del sistema sea mayor que el límite de emisión definido, se puede utilizar la CPD para cuantificar la probabilidad de conformidad del sistema con dicho límite.

En el apéndice I se presentan ejemplos de distribuciones de probabilidad y de distribuciones de probabilidad de conformidad que se obtienen al utilizar este método. Los ejemplos sirven para ilustrar el hecho de que es muy poco probable, por lo general, que el nivel de emisión del sistema tome su valor límite superior. Ésta es la razón por la que no se debe utilizar dicho límite para evaluar la conformidad de las emisiones RF radiadas por el sistema. Los ejemplos también sirven para ilustrar el hecho de que, por lo general, es muy probable que el nivel de emisión del sistema tome valores que son inferiores al valor límite superior.

Se considera que el sistema cumple el límite de emisiones definidos si la probabilidad de conformidad de este límite no es inferior al 80%. Este método es coherente con el adoptado en la sección 7.2 de [1].

## **6 Método**

En esta cláusula se presenta una descripción general del método aplicable para evaluar las emisiones radiadas de un sistema. El método consiste en la ejecución del proceso que se resume en el diagrama de flujo de la figura 2. Se recomienda que esta cláusula se lea consultando este diagrama de flujo.



**Figura 2/K.62 – Método de cálculo de las emisiones de sistemas**

## 6.1 Mapa del sistema

Se generará un mapa del sistema. Éste consiste en un diagrama de escala que representa las posiciones de los equipos que forman el sistema y las fronteras del mismo.

La frontera del sistema se define por lo general como el límite físico a partir del cual las emisiones radiadas pueden degradar la recepción de servicios radioeléctricos. Por lo general, la frontera del sistema es la frontera entre un área cerrada controlada por un operador y un espacio público en el que los operadores radioeléctricos (no asociados con el operador) pueden ubicar sus equipos. Por consiguiente, la frontera del sistema queda determinada por la naturaleza del sistema y su ubicación.

La frontera del sistema puede ser:

- la cerca del lugar, si se trata de sistemas instalados en un lugar controlado por el operador;
- las paredes de un edificio, si se trata de un sistema instalado en un edificio controlado por un operador, y sin tierras alrededor (caso típico de edificios en zonas urbanas);
- muros internos, si se trata de sistemas instalados en edificios multifunción, en los cuales el operador controla una determinada zona, y el resto del edificio se comparte con otros usuarios (caso típico de zonas urbanas).

## **6.2 Composición del sistema**

Se deberá hacer una lista de los equipos que contiene el sistema, en la que se registrará, por lo general:

- la función del equipo;
- el nombre del equipo (según la marca del fabricante);
- el fabricante del equipo;
- el número de ejemplares del equipo que contiene el sistema.

## **6.3 Emisiones del equipo**

Información relativa a las características de las emisiones radiadas por cada equipo. Fundamentalmente, se necesitan cuatro datos para cada emisión radiada:

- la frecuencia;
- la polaridad (horizontal o vertical);
- el nivel;
- la distancia de medición.

Si se dispone de informes de pruebas EMC para los equipos, éstos podrían servir para identificar esta información en el caso de las emisiones radiadas más altas medidas (estando éstas por debajo del límite máximo de las emisiones para las que se diseñó el equipo).

Si no se dispone de estos informes, se puede medir las emisiones radiadas de un elemento del equipo para determinar las frecuencias y los niveles en los cuales se midieron las emisiones radiadas más altas (estando éstas por debajo del límite máximo de las emisiones para las que se diseñó el equipo).

En ambos casos, se debe poner especial cuidado cuando se compile esta información para garantizar que la configuración del equipo durante las pruebas es lo más representativa posible de su instalación en el sistema. Durante las pruebas se debe poner especial atención a:

- La colocación: el equipo se debe ubicar en la misma ranura/estantería que se utilizará en el sistema.
- El cableado: la configuración del equipo debe tener las mismas conexiones que cuando esté instalado en el sistema, con los mismos tipos de cable y la misma señalización (simulada o real).
- El funcionamiento: el equipo se hará funcionar del mismo modo que funcionará cuando esté instalado en el sistema (lo cual está relacionado con el cableado, según se ha dicho antes).

Si no se dispone de informes de prueba y no se realizan las mediciones de emisiones radiadas de un determinado equipo, se tomará como hipótesis por defecto que las emisiones del elemento del equipo están en el nivel del límite de emisiones para el cual se diseñó en toda la gama de frecuencias. Esta hipótesis por defecto corresponde a un caso límite, dado que los equipos de telecomunicaciones no emiten, por lo general, a niveles próximos a su límite de emisiones a lo largo

de toda la gama de frecuencias correspondiente a ese límite, sino que por el contrario, las emisiones de los equipos están cerca del límite sólo durante un pequeño porcentaje de la gama de frecuencias total correspondiente a ese límite.

Se supondrá que cada equipo radia de manera completamente isotrópica en las frecuencias y niveles indicados en este método.

#### **6.4 Frecuencias de emisión comunes**

La información recopilada en 6.3 permite identificar las frecuencias de emisión comunes dentro del sistema, es decir, aquellas frecuencias en las cuales dos o más elementos del equipo emiten con la misma polaridad.

De este modo se puede determinar el valor de  $N_{fc}$  –el número de frecuencias de emisión comunes del sistema.

Para cada frecuencia común, es necesario conocer la siguiente información:

- la frecuencia;
- el equipo que emite a esa frecuencia;
- la polaridad.

#### **6.5 Puntos de evaluación**

El mapa del sistema, la composición del sistema y las emisiones de los equipos se examinarán para generar un conjunto de puntos de evaluación. Éstos son posiciones en el mapa del sistema y fuera de los límites del mismo en los cuales se han de evaluar las emisiones radiadas por los sistemas.

Se recomienda que se examine una serie de puntos de evaluación ( $N_{EP}$ ), es decir, las emisiones de nivel de sistema no se deben examinar en un único punto. Asimismo, se recomienda que el número de puntos de evaluación aumente con el tamaño físico del sistema que se está evaluando.

Los factores que se han de considerar al seleccionar los puntos de evaluación son:

- las posiciones conocidas de los usuarios radioeléctricos existentes –este punto requiere una atención especial;
- los ejemplares de los equipos que están ubicados cerca de la frontera del sistema (es decir, a una distancia menor o igual a la distancia en la cual se miden sus emisiones); esto es especialmente cierto si se ha determinado que estos equipos emiten a frecuencias de emisión comunes y cada emisión tiene un nivel relativamente alto;
- ubicaciones adyacentes a las fronteras del sistema en las que haya una gran probabilidad de que se hagan instalaciones radioeléctricas (por ejemplo ubicaciones de alta densidad de sistemas en zonas urbanas, zonas residenciales para sistemas en zonas suburbanas);
- zonas de acceso público muy próximas a la frontera del sistema (cabe estudiar especialmente las posibles interferencias que pueda causar el sistema a los servicios radioeléctricos móviles públicos, por ejemplo telefonía móvil).

#### **6.6 Matriz de separación**

Se deberá recopilar una matriz de separación, en la que se registre la distancia de separación en línea recta entre cada equipo del sistema y cada punto de evaluación.

#### **6.7 Método de evaluación**

Para cada punto de evaluación seleccionado, y para cada frecuencia de emisión común identificada, deben determinarse las emisiones radiadas por el sistema mediante el siguiente procedimiento.

### 6.7.1 Corrección I: Propagación

Se deberá consultar el mapa del sistema para determinar el trayecto de propagación entre cada elemento del equipo y cada punto de evaluación.

La complejidad de los trayectos de propagación varía de un trayecto a otro. Considérense los siguientes ejemplos (en orden creciente de complejidad):

- i) Trayecto bloqueado: no existe un trayecto de propagación simple y en línea recta entre el equipo y el punto de evaluación –entre el equipo y el punto de evaluación hay algún tipo de estructura conductora que apantalla las emisiones del equipo.
- ii) Trayecto directo: existe un trayecto de propagación simple y en línea recta entre el equipo y el punto de evaluación, de modo que no existen estructuras conductoras que puedan reflejar, difractar o bloquear la propagación de las emisiones del equipo hacia el punto de evaluación. Esta línea directa puede atravesar una serie de fronteras, lo que habrá que tener en cuenta (véase 6.7.2).
- iii) Trayecto reflejado indirecto: existe un trayecto indirecto entre el equipo y el punto de evaluación en el que se produce al menos una reflexión de las emisiones del equipo en una estructura conductora adyacente.
- iv) Trayecto difractado indirecto: existe un trayecto indirecto entre el equipo y el punto de evaluación en el que las emisiones del equipo se difractan por una estructura conductora adyacente.
- v) Trayecto complejo: existe un trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación en el que se producen una o varias de las dos situaciones anteriores y en cada una de ellas múltiples reflexiones o difracciones.

A medida que aumenta la complejidad del trayecto de propagación, también aumenta la reducción del nivel (es decir la atenuación por propagación) de las emisiones de los equipos que llegan hasta el punto de evaluación. Por consiguiente, es posible repetir varias veces el estudio de modo que cada vez se incluyan trayectos de propagación más complejos. En la primera iteración se consideraría únicamente los trayectos bloqueados y directos. En la segunda se considerarían los bloqueados, los directos y los trayectos reflejados de primer orden (es decir trayectos reflejados que consisten en una única reflexión). En la tercera iteración se podrían considerar los trayectos bloqueados, directos y los reflejados de primer y segundo orden.

Es necesario ajustar los niveles de emisión de los equipos indicados en 6.3 para tener en cuenta el trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación.

Para realizar los ajustes puede utilizarse cualquier modelo de propagación radioeléctrica que se considere aplicable de acuerdo con la frecuencia de emisión y el trayecto de propagación que se esté estudiando. En [2] y [3] se dan dos ejemplos.

Como mínimo, si no se dispone de un modelo de propagación radioeléctrica conocido y válido, se supondrá una simple propagación en espacio libre y de campo lejano. Es decir, se utilizará la ecuación de propagación siguiente:

$$E_0(d_2) = E_0(d_1) - 20 \log_{10} \left\{ \frac{d_2}{d_1} \right\} \quad (5)$$

siendo:

- $d_1$  la distancia de separación en metros entre el equipo y la antena de medición durante la medición de las emisiones radiadas
- $d_2$  la distancia de separación en metros entre el equipo y el punto de evaluación
- $E_0(d_1)$  la amplitud de la emisión del equipo (expresada en unidades logarítmicas) medido a la distancia  $d_1$

$E_0(d_2)$  la amplitud de emisión del equipo (expresada en unidades logarítmicas) prevista a la distancia  $d_2$  debido a la propagación entre  $d_1$  y  $d_2$

El valor de  $d_2$  para cada elemento del equipo que emite en la frecuencia común se obtiene a partir de la matriz de separación.

### 6.7.2 Corrección II: Atenuación en la frontera

Cuando el trayecto de propagación entre el equipo y el punto de evaluación atraviesa una o más fronteras físicas (una pared, una valla prefabricada, etc.) los niveles de emisión del equipo identificados en 6.3 pueden corregirse mediante los correspondientes valores de atenuación en la frontera, si éstos se conocen.

Si dichos valores no se conocen, el operador puede utilizar valores "típicos" derivados de experiencias anteriores.

Asimismo, es posible suponer que no hay atenuación en la frontera, lo que tendrá como efecto que el nivel de emisiones del sistema sea mayor.

### 6.7.3 Evaluación I: Emisión a nivel de sistema más alta

Una vez completados los pasos descritos en 6.1 a 6.7.2, ya se dispone de los niveles de emisión de los equipos corregidos en los puntos de evaluación considerados.

Para cada frecuencia de emisión de interés, se calcula el límite superior del nivel de emisiones del sistema. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{MÁX} = \sum_{i=1}^N E_{0i} \quad (6)$$

siendo:

$N$  el número de equipos diferentes dentro del sistema que emiten a la frecuencia común y con la polaridad considerada

$E_{0i}$  la amplitud ajustada (es decir, la amplitud en el punto de evaluación, expresada en unidades lineales) de las emisiones del  $i$ -ésimo tipo de equipo a la frecuencia común considerada

$E_{MÁX}$  el límite superior del nivel de emisiones del sistema (expresado en unidades lineales) a la frecuencia de emisiones común considerada

El nivel superior de las emisiones del sistema se compara con el límite máximo de emisiones del sistema.

Si el nivel superior de emisión del sistema es igual o inferior al límite de emisiones del sistema, las emisiones del sistema cumplen sin lugar a dudas el límite para la frecuencia y polaridad consideradas. De ser así, no es necesario evaluar nada más para la frecuencia de emisiones común considerada y el punto de evaluación considerado.

Si, por el contrario, el nivel superior de emisión del sistema sobrepasa el límite de emisión del sistema, será necesario pasar a la siguiente evaluación, que se describe en 6.7.4.

### 6.7.4 Evaluación II: Análisis de Monte Carlo

Si el nivel superior de emisión del sistema obtenido mediante la ecuación (6) sobrepasa el límite de emisión del sistema, se pueden utilizar técnicas de simulación de Monte Carlo en la ecuación (3) para calcular numéricamente la PD y la CPD que describe el nivel de emisión del sistema.

La CPD se utiliza para obtener la probabilidad de conformidad del nivel de emisión del sistema con el límite de emisión del sistema.



Si la probabilidad de conformidad es mayor o igual al 80%, se considera que las emisiones del sistema cumplen el límite de emisión del sistema para la frecuencia y polaridad consideradas.

Si la probabilidad de ocurrencia es inferior al 80%, se recomienda que el operador de telecomunicaciones examine en primer lugar el nivel de detalle que ha tenido en cuenta al realizar la evaluación.

Si en la evaluación se considera que todos los elementos de equipo emiten en su nivel límite a lo largo de toda la gama de frecuencias del límite (como se describe en 6.3), se recomienda que se repita el análisis para determinar las frecuencias comunes y las características de las emisiones del equipo que emiten a esas frecuencias.

Si en la evaluación sólo se tuvo en cuenta la corrección de propagación mínima (como se describe en 6.7.1) se recomienda repetir el análisis con correcciones de propagación más precisas.

Si en la evaluación no se tuvieron en cuenta los valores de la atenuación en las fronteras (como se describe en 6.7.2) independientemente de si hay fronteras físicas para el sistema considerado, se recomienda que se repita el análisis teniendo en cuenta los valores de la atenuación en las fronteras.

Si después de haber tenido en cuenta estos factores, la probabilidad de conformidad sigue siendo inferior al 80% en el análisis, en este caso, y sólo en este caso, se recomienda que el operador de telecomunicaciones trate de reducir el nivel de emisión del sistema de modo que la probabilidad de conformidad sea al menos del 80%. Las técnicas de simulación de Monte Carlo permiten investigar los efectos que produce la aplicación de muchos cambios posibles. Se recomienda que se aplique al sistema el cambio más conveniente.

## Apéndice I

### Ejemplos de distribuciones

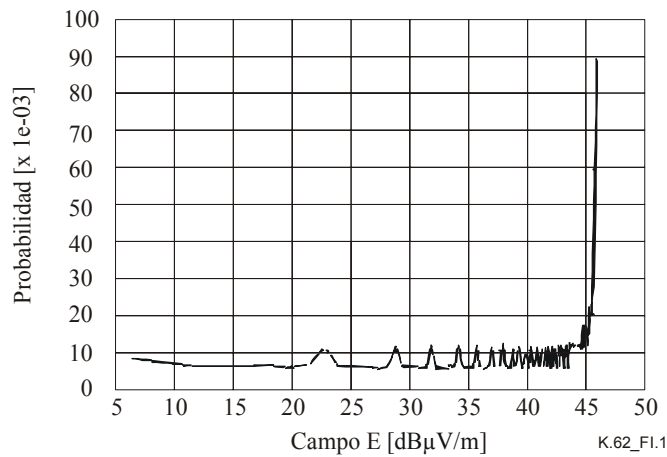
En este apéndice se presentan y describen algunos ejemplos de PD y CPD obtenidos al aplicar el método descrito en esta Recomendación.

#### I.1 N = 2

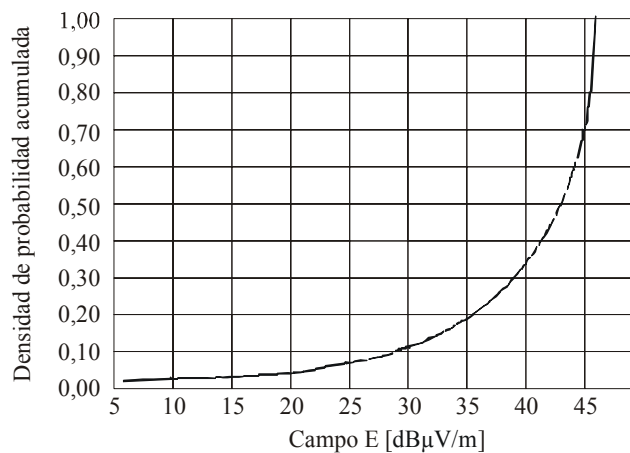
Cuando el sistema contiene dos elementos que emiten a una frecuencia común, la PD y la CPD describen una curva característica. Las figuras I.1 y I.2 muestran ejemplos para el caso de amplitudes de emisión comunes (en este caso  $E_1 = E_2 = 40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ).

Como puede verse en las figuras I.1 y I.2, la amplitud del nivel de emisión del sistema en este caso varía entre el límite superior de  $46 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (es decir,  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 20 \log_{10}\{2\}$ ) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.1, la PD tiene un máximo en el nivel de intensidad de campo para el caso más desfavorable, por lo que la amplitud a nivel de sistema más probable es la correspondiente al caso más desfavorable.



**Figura I.1/K.62 – Ejemplo de PD para N = 2**



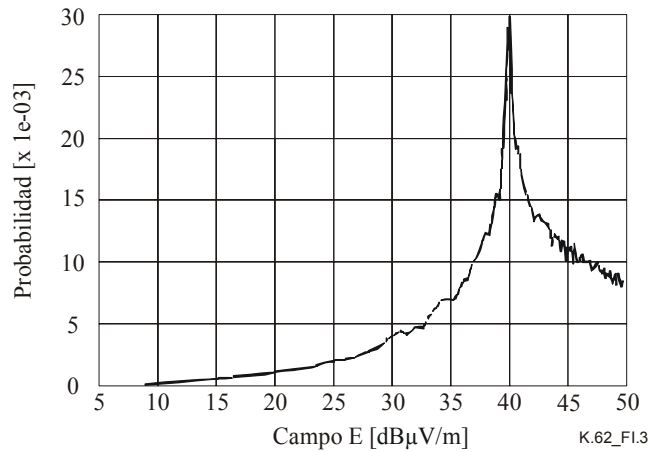
**Figura I.2/K.62 – Ejemplo de CPD para N = 2**

## I.2 N = 3

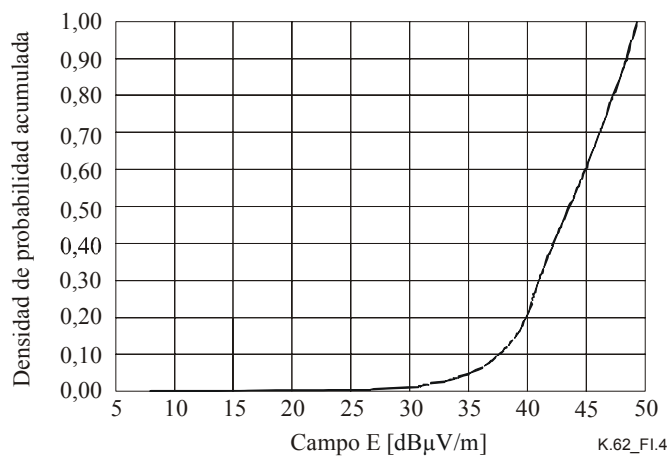
Cuando el sistema contiene tres elementos que emiten a una frecuencia común, la PD y la CPD también describen una forma característica. En las figuras I.3 y I.4 se muestran ejemplos para el caso de amplitudes de emisión comunes (en este caso  $E_1 = E_2 = E_3 = 40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ).

Como puede verse en las figuras I.3 y I.4, la amplitud del nivel de emisión del sistema en este caso varía entre el límite superior de  $49 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (es decir,  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 20 \log_{10}\{3\}$ ) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.3, la PD tiene un máximo en la amplitud de emisiones comunes, es decir cuando  $E_S = E_1$ . Esto significa que la amplitud más probable del sistema compuesto es la correspondiente a la amplitud común del equipo que lo constituye, es decir, que lo más probable es que el operador de telecomunicaciones no observe ninguna diferencia en la amplitud de las emisiones cuando se pase de un equipo a tres equipos.



**Figura I.3/K.62 – Ejemplo de PD para N = 3**



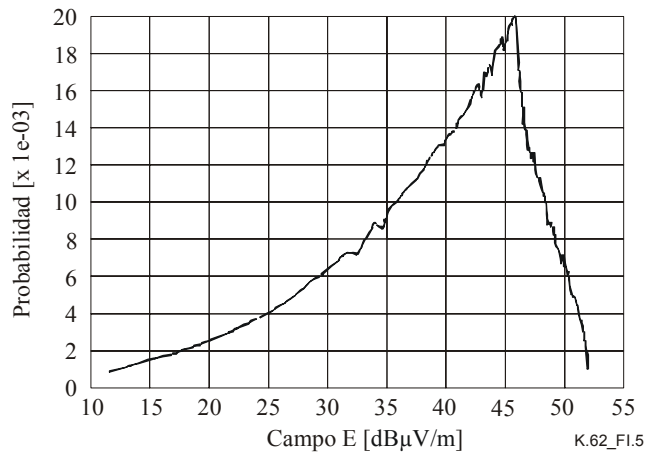
**Figura I.4/K.62 – Ejemplo de CPD para N = 3**

**I.3 N = 4**

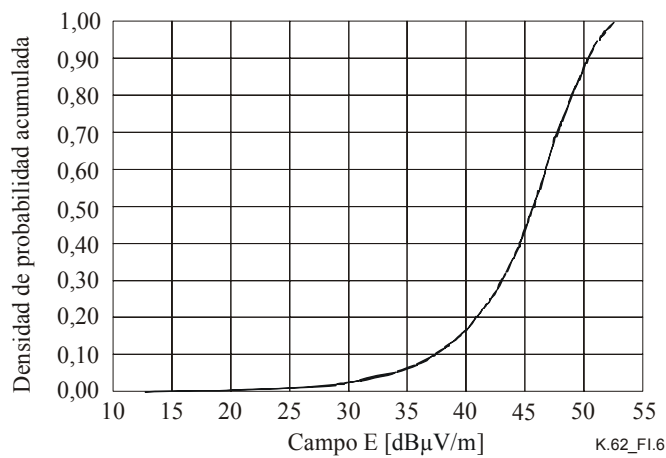
Cuando el sistema contiene cuatro elementos que emiten a una frecuencia común, la PD y la CPD describen una curva característica. En las figuras I.5 y I.6 se muestran ejemplos para el caso de amplitudes de emisión comunes (en este caso  $E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = 40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ).

Como puede verse en las figuras I.5 y I.6, la amplitud del nivel de emisión del sistema en ese caso varía entre el límite superior de  $52 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  (es decir,  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 20 \log_{10}\{4\}$ ) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.5, la PD tiene un máximo en la amplitud de emisión del sistema de  $\sim 46 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ . Esto significa que está unos 6 dB por debajo del nivel límite superior.



**Figura I.5/K.62 – Ejemplo de PD para N = 4**



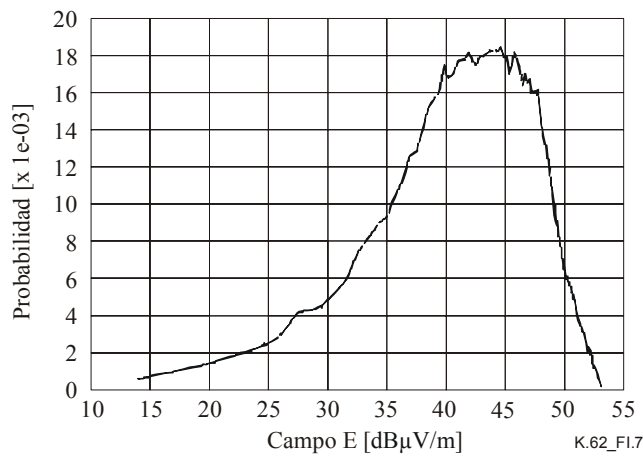
**Figura I.6/K.62 – Ejemplo de CPD para N = 4**

#### **I.4 N = 5**

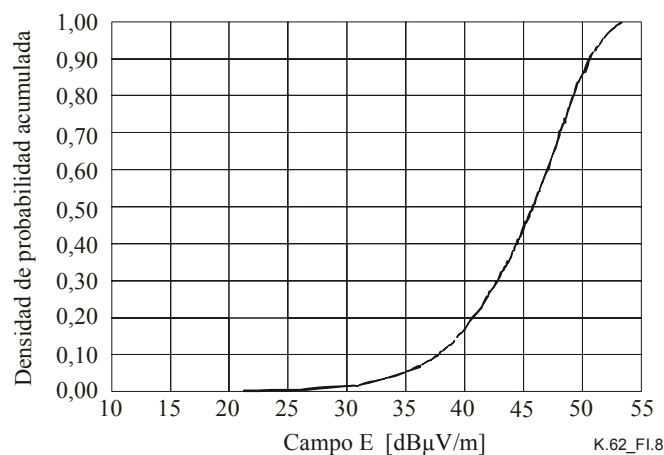
Cuando el sistema tiene cinco elementos que transmiten a una frecuencia común, la PD y la CPD describen una curva característica. En las figuras I.7 y I.8 se muestran ejemplos para el caso de amplitudes de emisión comunes (en este caso  $E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5 = 40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ).

Como puede verse en las figuras I.7 y I.8, la amplitud del nivel de emisión del sistema en este caso varía entre el límite superior de 53,97 dBµV/m (es decir,  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 20 \log_{10}\{5\}$ ) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.7, la PD tiene un máximo en el nivel de emisión del sistema de  $\sim 45 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ . Este valor está a unos  $\sim 9 \text{ dB}$  por debajo del valor correspondiente al caso más desfavorable.



**Figura I.7/K.62 – Ejemplo de PD para N = 5**



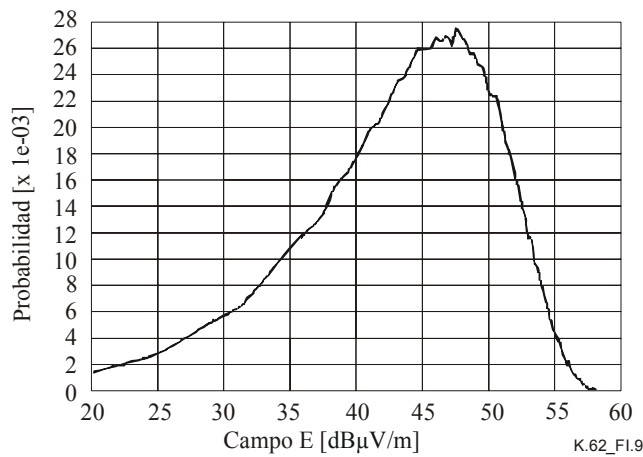
**Figura I.8/K.62 – Ejemplo de CPD para N = 5**

### I.5 N = 10

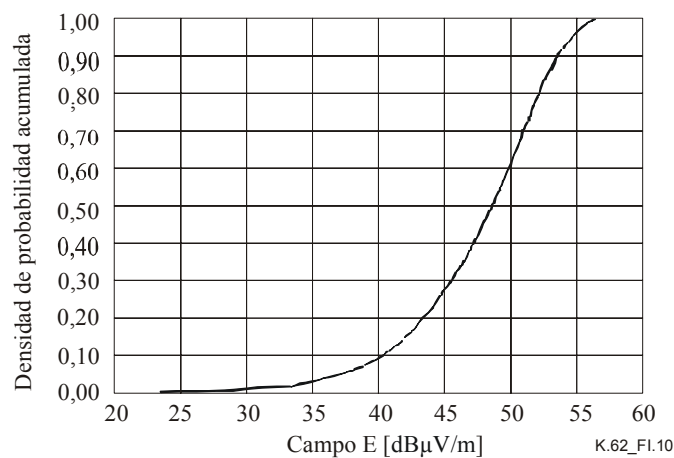
Cuando el sistema contiene diez elementos que emiten en una frecuencia común, la PD y la CPD describen una curva característica. En las figuras I.9 y I.10 se muestran ejemplos para el caso común de amplitudes de emisión (en este caso 40 dBµV/m).

Como puede verse en las figuras I.9 y I.10, la amplitud del nivel de emisiones del sistema en este caso varía entre el límite superior de 60 dBµV/m (es decir, 40 dBµV/m + 20 log<sub>10</sub>{10}) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.9, la PD tiene un máximo en el nivel de emisión del sistema de ~48 dBµV/m. Este valor está a unos ~12 dB por debajo del valor correspondiente al caso más desfavorable.



**Figura I.9/K.62 – Ejemplo de PD para N = 10**



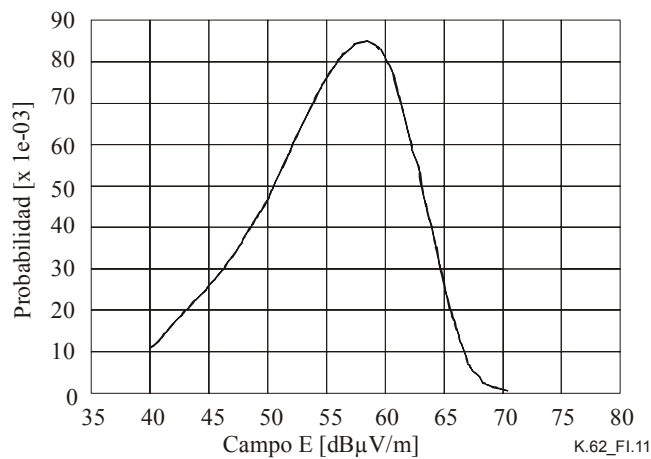
**Figura I.10/K.62 – Ejemplo de CPD para N = 10**

## I.6 N = 100

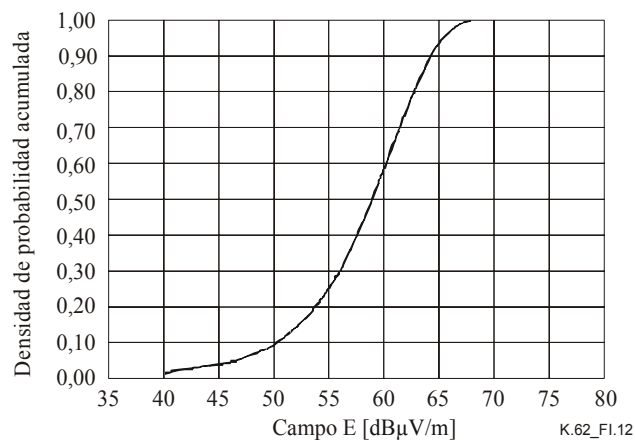
Cuando el sistema contiene cien elementos que emiten en una frecuencia común, la PD y la CPD describen una curva característica. En las figuras I.11 y I.12 se muestran ejemplos para el caso de amplitudes de emisión común (en este caso 40 dBµV/m).

Como puede verse en las figuras I.11 y I.12, la amplitud del nivel de emisiones del sistema en este caso varía entre el límite superior de 80 dBµV/m (es decir,  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m} + 20 \log_{10}\{100\}$ ) y el límite inferior de cero.

Como se observa en la figura I.11, la PD tiene un máximo en la amplitud de emisión del sistema de  $\sim 58 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ . Este valor está a unos 22 dB por debajo del valor correspondiente al caso más desfavorable.



**Figura I.11/K.62 –Ejemplo de PD para N=100**



**Figura I.12/K.62 –Ejemplo de CPD para N=100**

### I.7 Estudio de las distribuciones de probabilidad

El estudio de las curvas de PD mostradas en los ejemplos anteriores indica que existe un patrón: la probabilidad de que se produzca el nivel límite superior disminuye con el aumento del número de emisiones independientes a una frecuencia común.

Por ejemplo:

- Cuando el campo radiado consta de sólo dos componentes, la PD alcanza el máximo cuando el nivel de emisiones del sistema se aproxima al caso más desfavorable.
- Cuando el campo radiado consta de diez componentes, la PD alcanza el mínimo cuando la amplitud de emisión del sistema se aproxima al caso más desfavorable. En el ejemplo mostrado, la amplitud correspondiente al caso más desfavorable es 60 dBµV/m, aunque la PD se aproxima a cero a unos 58 dBµV/m.
- Cuando el campo radiado consta de cien componentes, la PD alcanza el mínimo cuando la amplitud de emisiones del sistema se aproxima al valor correspondiente al caso más desfavorable. En el ejemplo mostrado, la amplitud del caso más desfavorable es 80 dBµV/m, aunque la PD se aproxima a cero a unos ~70 dBµV/m.

Por tanto la amplitud en el caso más desfavorable es muy poco probable y no debe utilizarse para comprobar la conformidad del sistema.

Además, a medida que aumenta el número de emisiones independientes a una frecuencia común, aumenta el margen entre el nivel de emisión del sistema más probable y el límite superior del nivel de emisión del sistema.

Por ejemplo:

- Cuando el campo radiado sólo consta de dos componentes, la PD alcanza su máximo cuando la amplitud de emisiones del sistema se aproxima al caso más desfavorable. Por consiguiente, el margen entre el nivel más probable y el correspondiente al caso más desfavorable es 0 dB.
- Cuando el campo radiado consta de diez componentes, la PD alcanza su máximo en  $\sim 48$  dB $\mu$ V/m, mientras que el límite superior es 60 dB $\mu$ V/m. Por consiguiente, el margen entre el caso más probable y el límite superior es  $\sim 12$  dB $\mu$ V.
- Cuando el campo radiado consta de cien componentes, la PD alcanza un máximo en  $\sim 58$  dB $\mu$ V/m, mientras que el límite superior es 80 dB $\mu$ V/m. Por consiguiente, el margen entre el caso más probable y el límite superior es  $\sim 22$  dB $\mu$ V.

Existe una explicación intuitiva de este comportamiento. El límite superior del nivel de emisión del sistema corresponde a una combinación concreta de eventos: cuando *todos* los componentes del campo radiado llegan en fase al punto de evaluación. A medida que aumenta el número de componentes del campo radiado, disminuye la probabilidad de que se produzca este evento. Para otras amplitudes de emisión más bajas, existen, por lo general, muchas combinaciones diferentes de los valores de fase (es decir muchos eventos diferentes) entre las componentes del campo radiado que generan las amplitudes. Por consiguiente, la probabilidad de estas amplitudes es mayor.





## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
<b>Serie K</b>	<b>Protección contra las interferencias</b>
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación