

## Unión internacional de la comunicación

# UIT-T

TELECOMUNICACIÓN  
SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LA UIT

# K.113

(11/2015)

## **Generación de mapas de niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencia**

Recomendación UIT-T K.113



## Recomendación UIT-T K.113

### Generación de mapas de niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencia

#### Resumen

La Recomendación UIT-T K.113 ofrece orientación sobre cómo elaborar mapas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) para evaluar los niveles de exposición existentes en grandes zonas de ciudades o territorios y para una adecuada divulgación pública de los resultados, de forma sencilla y comprensible.

#### Historia

Edición Recomendación Aprobación Grupo de Estudio Identificación Única\*

1.0	UIT-T K.113	2015-11-29	5	<a href="#">11.1002/1000/12666</a>
-----	-------------	------------	---	------------------------------------

Para acceder a la Recomendación, escriba la URL <http://handle.itu.int/> en el campo de dirección de su navegador web, seguida del ID único de la Recomendación. Por ejemplo, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-es>.

**Rec. ITU-T K.113 (11/2015)**

i

## PRÓLOGO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el ámbito de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T) es un órgano permanente de la UIT. El UIT-T se encarga de estudiar las cuestiones técnicas, de explotación y tarifarias y de emitir Recomendaciones al respecto con el fin de normalizar las telecomunicaciones a nivel mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas de estudio de las Comisiones de Estudio del UIT-T que, a su vez, elaboran Recomendaciones sobre estos temas.

La aprobación de las Recomendaciones del UIT-T se rige por el procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En algunos ámbitos de la tecnología de la información que son competencia del UIT-T, las normas necesarias se elaboran en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza por concisión para indicar tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida.

El cumplimiento de esta Recomendación es voluntario. Sin embargo, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para garantizar, por ejemplo, la interoperabilidad o la aplicabilidad) y el cumplimiento de la Recomendación se consigue cuando se cumplen todas estas disposiciones obligatorias. Para expresar los requisitos se utilizan las palabras "deberá" u otro lenguaje obligatorio como "debe" y sus equivalentes negativos. El uso de estas palabras no sugiere que se exija el cumplimiento de la Recomendación a ninguna de las partes.

## DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT llama la atención sobre la posibilidad de que la práctica o aplicación de esta Recomendación pueda implicar la utilización de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no se pronuncia sobre las pruebas, la validez o la aplicabilidad de los Derechos de Propiedad Intelectual reivindicados, ya sean afirmados por los miembros de la UIT o por otras personas ajenas al proceso de elaboración de la Recomendación.

En la fecha de aprobación de esta Recomendación, la UIT no había recibido ninguna notificación de propiedad intelectual, protegida por patentes, que pudiera ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, se advierte a los implementadores que esto puede no representar la información más reciente y, por lo tanto, se les insta a consultar la base de datos de patentes de la TSB en <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

UIT 2016

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, por ningún medio, sin la previa autorización escrita de la UIT.

## Página del índice

1	Alcance .....	1
2	Referencias.....	1
3	Definiciones .....	2
3.1	Términos definidos en otra parte .....	2
3.2	Términos definidos en esta Recomendación .....	3
4	Abreviaturas y acrónimos .....	3
5	Convenios .....	3
5.1	Magnitudes físicas, unidades y constantes .....	3
6	Métodos .....	4
6.1	Medidas de la prueba de conducción .....	4
6.2	Cálculos teóricos .....	5
6.3	Método de rejilla .....	5
6.4	Método combinado .....	5
6.5	Discrepancias entre los resultados .....	6
7	Especificaciones del equipo que se utilizará .....	6
7.1	Equipo para la prueba de conducción .....	6
7.2	Equipo para mediciones puntuales .....	7
7.3	Calibración .....	7
8	Incertidumbres .....	7
9	Informe sobre los niveles de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia .....	8
Apéndice I - Ejemplo de código de colores y alternativas al uso de colores para la visualización		
	Mapa de niveles de RF-EMF .....	10
I.1	Ejemplo de código de colores .....	10
I.2	Ejemplo alternativo de código de colores .....	10
Bibliografía.....		11

## Introducción

Uno de los problemas para el despliegue de las infraestructuras de telecomunicaciones, de cara a la opinión pública, es la desconfianza generada por el desconocimiento de la población en general sobre las emisiones de campos electromagnéticos y sus consiguientes niveles de exposición.

En algunos países, esta desconfianza inhibe el despliegue de estas infraestructuras críticas, provocando tensiones innecesarias entre las partes implicadas: ciudadanos, gobiernos, operadores de telecomunicaciones.

Esta Recomendación proporciona una herramienta práctica para evaluar los niveles de exposición en grandes zonas de ciudades o territorios, que complementa las simulaciones, las mediciones específicas y la vigilancia continua que ya se llevan a cabo en muchos países. (Pueden encontrarse orientaciones técnicas en [ITU-T K.52], [ITU-T K.61], [ITU-T K.70], [ITU-T K.83], [ITU-T K.91] y [ITU-T K.100]). Esta Recomendación describe los métodos y herramientas para el desarrollo de los mapas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF).

Esta Recomendación también describe métodos para comunicar los datos de exposición a RF-EMF de manera visual, es decir, mediante mapas de exposición, que pueden ser mejor comprendidos por el público en general.





## Recomendación UIT-T K.113

### Generación de mapas de niveles de campos electromagnéticos de radiofrecuencia

#### 1 Ámbito de aplicación

Esta Recomendación describe los métodos y las características de los sistemas utilizados para generar mapas de campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF-EMF) con el fin de evaluar y comunicar los niveles de exposición a RF-EMF que las personas pueden encontrar en determinadas zonas.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, por su referencia en este texto, constituyen disposiciones de esta Recomendación. En el momento de la publicación, las ediciones indicadas eran válidas. Todas las Recomendaciones y otras referencias están sujetas a revisión; por lo tanto, se anima a los usuarios de esta Recomendación a investigar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las Recomendaciones y otras referencias que se indican a continuación. Se publica regularmente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente válidas. La referencia a un documento dentro de esta Recomendación no le otorga, como documento independiente, el estatus de Recomendación.

- [UIT-T K.52] Recomendación UIT-T K.52 (2014), *Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición humana a los campos electromagnéticos.*
- [UIT-T K.61] Recomendación UIT-T K.61 (2008), *Orientación sobre la medición y predicción numérica de los campos electromagnéticos para el cumplimiento de los límites de exposición humana para las instalaciones de telecomunicaciones.*
- [UIT-T K.70] Recomendación UIT-T K.70 (2007), *Técnicas de mitigación para limitar la exposición humana a los CEM en las proximidades de las estaciones de radiocomunicación.*
- [UIT-T K.83] Recomendación UIT-T K.83 (2011), *Vigilancia de los niveles de los campos electromagnéticos.*
- [UIT-T K.91] Recomendación UIT-T K.91 (2012), *Orientaciones para la evaluación y el control de la exposición humana a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia.*
- [UIT-T K.100] Recomendación UIT-T K.100 (2014), *Medición de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia para determinar el cumplimiento de los límites de exposición humana cuando se pone en servicio una estación base.*
- [EN 50383] Cenelec EN 50383 (2010), *Norma básica para el cálculo y la medición de la intensidad de campo electromagnético y el SAR relacionados con la exposición humana desde estaciones de radio base y estaciones terminales fijas para sistemas de telecomunicaciones inalámbricas (110 MHz - 40 GHz).*
- [EN 50413] Cenelec EN 50413 (2008), *Norma básica sobre procedimientos de medición y cálculo de la exposición humana a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz).*

[EN 50492]	Cenelec EN 50492 (2008), <i>Norma básica para la medición in situ de la intensidad del campo electromagnético relacionada con la exposición humana en las proximidades de las estaciones base.</i>
[IEC 60529]	IEC 60529 (1989), <i>Grados de protección proporcionados por las cajas (Código IP).</i>
[ISO/IEC 17025]	ISO/IEC 17025 (2005), <i>Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.</i>
[	Guía ISO/IEC 98-3] Guía ISO/IEC 98-3 (2008), <i>Incertidumbre de la medición - Parte 3: Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición (GUM:1995).</i>

### 3 Definiciones

#### 3.1 Términos definidos en otros lugares

La presente Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en otra parte:

**3.1.1 Tiempo de promediación** [UIT-T K.52]: Periodo de tiempo apropiado sobre el que se promedia la exposición a efectos de determinar el cumplimiento de los límites establecidos.

**3.1.2 Intensidad de campo eléctrico ( $E$ )** [UIT-T K.83]: Magnitud de un vector de campo en un punto que representa la fuerza ( $F$ ) sobre una pequeña carga de prueba ( $q$ ) dividida por la carga:  $E = F/q$

La intensidad del campo eléctrico se expresa en unidades de voltios por metro (V/m).

**3.1.3 exposición** [UIT-T K.83]: La exposición se produce siempre que una persona está expuesta a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.

**3.1.4 Región de campo lejano** [UIT-T K.83]: Región del campo de una antena en la que la distribución del campo radial depende esencialmente de la distancia a la antena. En esta región, el campo tiene un carácter predominantemente de onda plana, es decir, una distribución localmente uniforme del campo eléctrico y del campo magnético en planos transversales a la dirección de propagación.

NOTA - En la región de campo lejano, los vectores del campo eléctrico  $E$  y del campo magnético  $H$  son perpendiculares entre sí, y el cociente entre el valor de la intensidad del campo eléctrico  $E$  y la intensidad del campo magnético  $H$  es constante e igual a la impedancia del espacio libre  $Z_0$ .

**3.1.5 IP (protección de entrada o internacional)** [IEC 60529]: El Código IP, Internacional El marcado de protección, a veces interpretado como marcado de protección contra la entrada, clasifica y califica el grado de protección proporcionado contra la intrusión (partes del cuerpo como las manos y los dedos), el polvo, el contacto accidental y el agua por las carcasas mecánicas y los recintos eléctricos.

**3.1.6 linealidad** [UIT-T K.83]: Desviación máxima en el intervalo de medición de la magnitud medida con respecto a la curva de referencia lineal más próxima definida en el intervalo.

**3.1.7 intensidad de campo magnético ( $H$ )** [UIT-T K.83]: La magnitud de un vector de campo en un punto que da lugar a una fuerza ( $F$ ) sobre una carga  $q$  que se mueve con la velocidad  $v$ :  $F = q(v\mu H)$

La intensidad del campo magnético se expresa en unidades de amperios por metro (A/m).

**3.1.8 Región de campo cercano** [UIT-T K.83]: Región generalmente próxima a una antena u otra estructura radiante, en la que los campos eléctricos y magnéticos no tienen un carácter sustancialmente de onda plana, sino que varían considerablemente de un punto a otro. La región de campo cercano se subdivide a su vez en la región de campo cercano reactivo, que está más cerca de la estructura radiante y que contiene la mayor parte o casi toda la energía almacenada, y la región de

campo cercano radiante, en la que el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero carece de un carácter sustancial de onda plana y tiene una estructura compleja.

**3.1.9 Densidad de potencia (S)** [UIT-T K.83]: Potencia radiante incidente perpendicular a una superficie, dividida por el área de la misma.

La densidad de potencia se expresa en unidades de vatios por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ).

**3.1.10 Raíz cuadrada (rms)** [UIT-T K.83]: Valor efectivo o valor rms obtenido tomando la raíz cuadrada de la media del cuadrado del valor de la función periódica tomada a lo largo de un periodo.

## 3.2 Términos definidos en esta Recomendación

La presente Recomendación define los siguientes términos:

**3.2.1 período de medición:** Tiempo entre el inicio de una medición y el inicio de la siguiente.

**3.2.2 tiempo de medición:** Tiempo que el equipo de medición necesita para realizar cada medición, es decir, para tomar cada muestra.

## 4 Abreviaturas y acrónimos

La presente Recomendación utiliza las siguientes abreviaturas y acrónimos:

CW	Onda continua
CEM	Campo electromagnético
GPS	Sistema de posicionamiento global
RF	Radiofrecuencia
RF-EMF	Campo electromagnético de radiofrecuencia
rms	media cuadrática

## 5 Convenios

### 5.1 Magnitudes físicas, unidades y constantes

En la presente Recomendación se utilizan las siguientes magnitudes físicas, unidades y constantes, basadas en el sistema internacional de unidades (SI).

<i>Cantidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo de la unidad</i>
Densidad de corriente	<i>J</i>	amperios por metro cuadrado	A/m <sup>2</sup>
Intensidad del campo eléctrico	<i>E</i>	voltios por metro	V/m
Densidad de flujo eléctrico	<i>D</i>	culombios por metro cuadrado	C/m <sup>2</sup>
Frecuencia	<i>f</i>	hertz	Hz
Intensidad del campo magnético	<i>H</i>	amperios por metro	A/m
Densidad de flujo magnético	<i>B</i>	tesla (Vs/m <sup>2</sup> )	T
Permeabilidad	$\mu$	henrios por metro	H/m
Permitancia	$\epsilon$	faradios por metro	F/m
Longitud de onda	$\lambda$	contador	m
<i>Constante física</i>		<i>Valor</i>	
Velocidad de la luz en el vacío	<i>c</i>	$2,997 \times 10^8$ m/s	

Permitancia del espacio libre	$\epsilon_0$	$8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Permeabilidad del espacio libre	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

## 6 Métodos

En los apartados 7.1 a 7.3 se describen tres posibles métodos para generar mapas de RF-EMF; no obstante, también pueden utilizarse otros métodos que proporcionen información similar.

### 6.1 Medidas de la prueba de conducción

Los mapas de RF-EMF pueden generarse según el método de drive test, ampliamente conocido en el sector de las telecomunicaciones, ya que se emplea regularmente para evaluar la cobertura y otros parámetros relacionados con la red de telecomunicaciones.

El método de drive test consiste en la recogida continua de datos métricos de un vehículo en movimiento. Este método requiere la instalación de los instrumentos de medición en un vehículo. También es imprescindible incluir equipos del sistema de posicionamiento global (GPS) para permitir el posicionamiento geográfico y simultáneo de las mediciones. En este método, el equipo de medición también puede responder a señales de radiofrecuencia (RF) ascendentes procedentes de teléfonos móviles y otros transmisores de radio. A menos que se realicen mediciones con frecuencia selectiva, el personal de medición no debe utilizar teléfonos móviles y otros radiotransmisores.

Utilizando este método, se pueden obtener los siguientes datos para cada punto:

[posición GPS] [fecha/hora] [valor de la muestra]

Dado que las mediciones se realizan en movimiento, debe tenerse en cuenta el tiempo de medición (o tiempo de integración) del equipo utilizado (véase la definición de tiempo de medición en el apartado 3.2.2). Los muestreos (mediciones) deben realizarse a una distancia de 5 m para las zonas urbanas y de 10 m para las zonas no urbanas. Por lo tanto, la velocidad máxima permitida del vehículo debe calcularse en función del tiempo de medición del equipo utilizado.

**Ejemplo 1:** equipo de medición con un tiempo de medición de 300 ms:

- si se mueve a 50 km/h, necesitará 4,2 m para tomar cada muestra;
- la velocidad máxima sería de 60 km/h para mantener la distancia de 5 m entre las muestras (zona urbana).

**Ejemplo 2:** equipo de medición con un tiempo de medición de 1 s:

- la velocidad máxima para mantenerse dentro del límite de 5 m entre muestras es de 18 km/h (zonas urbanas);
- la velocidad máxima para mantenerse dentro del límite de 10 m entre muestras es de 36 km/h (zonas no urbanas).

Dado que los dispositivos GPS más comunes proporcionan información de posición cada segundo, se recomienda un periodo de medición de 1 s (véase la definición de periodo de medición en la cláusula 3.2.1).

En cualquier caso, la velocidad requiere una adaptación al estado de la carretera, ya que los sensores de medición pueden generar lecturas erróneas debido a movimientos bruscos en presencia de campos estáticos.

El movimiento del vehículo no permite realizar mediciones durante un tiempo medio de seis minutos, como recomiendan [b-ICNIRP 1998] y otras organizaciones nacionales e internacionales. Sin embargo, permite obtener una aproximación de los niveles de RF-EMF en grandes áreas que, de otro modo, sería imposible cubrir. Para superar esta limitación, el vehículo debe detenerse al menos cada hora para obtener una muestra estadísticamente válida de mediciones específicas promediadas que se tomarán como referencia. Estas muestras de mediciones promediadas se comparan con las mediciones tomadas en movimiento, para garantizar que el orden de magnitud es similar. En todos los casos, el

sistema comprueba que todas las mediciones tomadas en movimiento están al menos 6 dB por debajo del límite más restrictivo de toda la banda de frecuencias que se está midiendo con la sonda. Si el valor de alguna medición está por encima de este umbral, el equipo de medición se traslada a ese punto para realizar mediciones específicas promediadas de 6 minutos del campo cuadrático medio (rms) no perturbado (con un trípode no conductor y manteniendo el operador una distancia adecuada).

#### Ejemplo:

- sonda para medir campos electromagnéticos (CEM) en la gama de frecuencias de 100 kHz a 3 GHz (véase la cláusula 8);
- nivel de referencia más restrictivo para el público en general en esta banda según [b-ICNIRP 1998]: 28 V/m (o 2 W/m<sup>2</sup>);
- umbral de aceptación (6 dB por debajo del límite más restrictivo): 14 V/m (0,5 W/m<sup>2</sup>).

Por lo tanto, al medir en la banda de 100 kHz - 3 GHz, todos los valores por debajo del umbral de aceptación se consideran adecuados, y los valores por encima del umbral de aceptación se vuelven a medir específicamente con una media de 6 minutos.

## 6.2 Cálculos teóricos

Como alternativa, los mapas de RF-EMF pueden construirse mediante cálculos teóricos. En este caso, es esencial realizar pruebas periódicas en una muestra representativa de ubicaciones con un promedio de seis minutos, o demostrar mediante otras técnicas que los valores calculados son representativos de los niveles reales medidos. Pueden encontrarse orientaciones técnicas en [UIT-T K.61], [UIT-T K.70], [UIT-T K.91] y [UIT-T K.100].

Comprobar que los niveles calculados no subestiman los niveles de medición, teniendo en cuenta factores ambientales y otros (por ejemplo, el tráfico de llamadas en las redes móviles).

## 6.3 Método de la rejilla

Las mediciones pueden realizarse en las ciudades siguiendo el siguiente procedimiento:

- comprobar el tamaño geográfico de la ciudad;
- Construir una cuadrícula sobre un mapa de la ciudad formando recuadros de no más de 500 m de lado (considerando que una estación base tiene unos promedios de cobertura de entre 1 y 2 km); una medida de 500 m permite tomar muestras representativas de todas las estaciones en las cuatro direcciones. En una zona urbana densa, el radio de cobertura de la estación base puede ser muy inferior a 1 km;
- toman las coordenadas de los puntos situados en los vértices de la cuadrícula;
- en cada vértice de la cuadrícula, medir los RF-EMF. Puede ser aceptable el promedio de tiempo en períodos inferiores a seis minutos (de acuerdo con la norma [UIT-T K.100]). Siempre que la medición se genere con un periodo más largo, tanto la cantidad de información como el tiempo empleado para adquirirla aumentan la cantidad de recursos utilizados en la generación del mapa de RF-EMF;
- para los vértices en los que se supere el valor fijado como límite, el responsable deberá comprobar tanto el punto como los alrededores, cumpliendo las recomendaciones de [b-ICNIRP 1998] y [b-ICNIRP 2010] o los límites nacionales y la metodología de medición específica ya establecidos en [ITU-T K.52] y [ITU-T K.61].

El personal de medición no debe utilizar los teléfonos móviles durante la medición.

Con la información obtenida de cada uno de los vértices medidos (coordenadas geográficas, fecha/hora, el valor medio de la muestra tomada), los resultados deben trazarse en los correspondientes mapas de niveles de RF-EMF.

## 6.4 Método combinado

También puede aplicarse un método que combine dos o tres de los métodos de los apartados 7.1 a 7.3 o cualquier otra técnica adecuada. Por ejemplo, un método combinado podría utilizar cálculos teóricos en algunas áreas y pruebas de conducción en otras.

## 6.5 Discrepancias entre los resultados

Independientemente del método, si hay discrepancia entre los resultados, deben prevalecer los datos obtenidos mediante mediciones promediadas a lo largo de seis minutos (ya sea con equipos de banda ancha o selectivos en frecuencia).

## 7 Especificaciones del equipo que se va a utilizar

### 7.1 Equipo para la prueba de conducción

El sistema que se instalará en el vehículo consta de cuatro partes principales:

- 1) sonda de campo electromagnético isotrópico;
- 2) electrónica de adquisición de datos;
- 3) GPS;
- 4) protección del equipo de medición contra las condiciones ambientales (véase la cláusula 7.1.4); 5) opcional: ordenador portátil.

#### 7.1.1 Sonda de campo electromagnético

Cada vez que se toma una muestra, debe obtenerse el valor completo de la intensidad de campo eléctrico ( $E$ ). Para evitar errores, la lectura de los tres ejes de la sonda de campo isotrópica de banda ancha (compuesta por antenas  $E$  o  $H$ ) debe ser preferiblemente simultánea.

La banda de frecuencias de la sonda debe ser la adecuada para las frecuencias que se van a medir. Estas sondas proporcionan una respuesta plana en rangos de frecuencia muy amplios. En muchos casos, una respuesta entre 100 kHz y 3 GHz es suficiente, pero alternativamente se pueden utilizar sondas que proporcionen respuestas más amplias o respuestas más estrechas si las contribuciones para determinados servicios de RF son de interés.

La sonda debe realizar mediciones rms.

Otras características importantes de este tipo de sondas son:

- rango de medición: valor mínimo rms 0,3-20 V/m; valor mínimo de onda continua (CW) 0,3-100 V/m;
  - sensibilidad: mínimo 0,3 V/m;
- (NOTA - Esta cifra es aproximadamente igual a la media aritmética registrada en las ciudades europeas [b-Urbinello]).
- respuesta en frecuencia: máximo  $\pm 3$  dB en la banda considerada;
  - linealidad: máximo  $\pm 1$  dB;
  - isotropía: máximo  $\pm 2,5$  dB hasta 3 GHz ( $\pm 3,5$  dB hasta 6 GHz); - rango de temperatura: -10°C a 45°C.

La posición de la sonda de campo en el vehículo debe estar entre 1,5 y 3 m por encima del nivel del suelo.



### 7.1.2 Electrónica de adquisición de datos

La electrónica debe permitir la captura de datos por parte de la sonda y el almacenamiento de cada información con su fecha y hora, además de su posición geográfica.

### 7.1.3 GPS

El GPS permite obtener en todo momento datos de localización geográfica a través de la red de satélites. Puede ser un elemento externo al sistema o integrarse en el equipo de medición en continuo, para asociar directamente los datos de medición en cada punto con la posición geográfica.

### 7.1.4 Protección del medio ambiente

Al tener que trabajar siempre en el exterior, se recomienda un nivel de protección ambiental mínimo IP55 [IEC 60529].

### 7.1.5 Ordenador portátil (opcional)

La conexión directa entre el equipo de medición y el GPS (si es externo) permite controlar y visualizar los datos en tiempo real y comprobar la evolución de la prueba de conducción mediante una cartografía adecuada.

## 7.2 Equipo para mediciones puntuales

Las mediciones puntuales se refieren a todas las mediciones realizadas con el vehículo parado (cláusula 6.1), las mediciones para comparar con el cálculo teórico (cláusula 6.2) y las mediciones por el método de la cuadrícula (cláusula 6.3).

Pueden utilizarse equipos de banda ancha o de frecuencia selectiva.

Los equipos de banda ancha permiten obtener el valor total del campo en la banda de frecuencias de interés y comparar directamente los resultados con los obtenidos mediante el cálculo teórico o el drive test. Los equipos de banda ancha montados en vehículos también pueden calcular mediciones promediadas, en cuyo caso sólo es necesario detener el vehículo durante los seis minutos necesarios para obtener la medición deseada.

En caso contrario, la medición debe realizarse con un trípode y luego incluirse en el archivo. Los valores medidos por la sonda de banda ancha se comparan con el límite inferior de la banda de trabajo de la sonda, a menos que ésta tenga una respuesta en frecuencia conformada. Si el valor está más de 6 dB por debajo de este límite, el resultado es válido; en caso contrario, es necesario repetir las mediciones con un equipo de selección de frecuencias.

La altura recomendada para las mediciones puntuales realizadas con equipos no montados en el vehículo es de 1,5 m.

Los equipos de frecuencia selectiva permiten obtener valores específicos para cada servicio de telecomunicaciones. La suma de las contribuciones debe calcularse para obtener el valor total de exposición a RF-EMF e incluir los resultados en el fichero. La suma de las contribuciones debe realizarse según lo especificado por [b-ICNIRP 1998] (descrito en el Apéndice I de [ITU-T K.52]).

## 7.3 Calibración

Todos los equipos de medición deben ser calibrados individualmente por un laboratorio acreditado ISO/IEC 17025. Es aconsejable realizar calibraciones acreditadas y reconocidas por la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC).

## 8 Incertidumbres

Las incertidumbres se estimarán de acuerdo con los métodos descritos en [EN 50413], [EN 50383], [ITU-T K.91] y [Guía ISO/IEC 98-3]. Las contribuciones a la incertidumbre total de la medición pueden obtenerse mediante las mediciones apropiadas realizadas en el equipo o según las

especificaciones del fabricante. Normalmente, se pueden considerar tolerancias con distribución rectangular.

La incertidumbre expandida con un intervalo de confianza del 95% no deberá superar los 4 dB.

Las contribuciones de cada componente de la incertidumbre se registrarán con su nombre, distribución de probabilidad, coeficiente de sensibilidad y valor de la incertidumbre. Los resultados se registrarán como se describe en el cuadro 1. La incertidumbre combinada se evaluará entonces según la ecuación 1:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 u_i^2} \quad (1)$$

donde  $c_i$  es el coeficiente de ponderación (coeficiente de sensibilidad). La incertidumbre expandida se evaluará utilizando un intervalo de confianza del 95% que puede obtenerse con el factor de cobertura  $k = 1,96$  para una distribución casi normal, típica en la mayoría de las mediciones.

El cuadro 1 ofrece una pauta práctica para evaluar la incertidumbre en las mediciones de los CEM.

Puede haber otras incertidumbres que no figuran en el cuadro 1. Si las partes interesadas encuentran otras incertidumbres relevantes, éstas deben añadirse y tenerse en cuenta para el cálculo global.

**Cuadro 1 - Evaluación de la incertidumbre**

Fuentes de error	Valor de incertidumbre % $u_{vi}$	Distribución de probabilidades	Divisor $k_i$	$c_i$	Incertidumbre estándar % $u_i = u_{vi}/k_i$
<b>Equipos de medición</b>					
Calibración		Normal	2	1	
Isotropía		Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
Linealidad		Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
Respuesta en frecuencia		Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
<b>Parámetros medioambientales</b>					
Influencia de la temperatura y la humedad en el equipo de medición		Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
Influencia del vehículo		Rectangular	$\sqrt{3}$	1	
<b>Post-procesamiento</b>					
Incertidumbre estándar combinada		$\sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{c_i^2 u_i^2}{k_i^2}}$			
Incertidumbre ampliada (intervalo de confianza del 95%)		Normal			$u_e = 1,96 u_c$



## 9 Informe sobre los niveles de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia

El objetivo final de los mapas de RF-EMF es transmitir al público información sobre los niveles de RF-EMF en un formato visual comprensible.

Los niveles de RF-EMF se trazan en función del número total de muestras y en relación con el porcentaje de los límites nacionales. Es aconsejable utilizar un código de colores para reflejar los niveles de los diferentes puntos en los mapas.

El código de colores siempre debe formar parte del mapa. Un mapa sin código de colores puede no ser comprensible y dar lugar a malentendidos. En el Apéndice I encontrará un ejemplo de código de colores.

NOTA - En el Apéndice I también se sugiere un enfoque alternativo monocromático para mostrar los resultados.

El mapa también irá acompañado de la siguiente información:

- lugar de medición o cálculo;
- fecha;
- descripción del sistema o equipo utilizado, o de las herramientas de cálculo;
- registro de calibración del equipo utilizado;
- incertidumbre de la medición o del cálculo; - entidad encargada de realizar los mapas de RF-EMF; - escala y valores límite.

## Anexo I

### Ejemplo de código de colores y alternativas al uso de colores para mostrar los niveles del mapa RF-EMF

(Este apéndice no forma parte de la presente Recomendación).

#### I.1 Ejemplo de código de colores

La tabla I.1 es un ejemplo de código de colores unificado para una mejor comprensión y comparación entre los mapas realizados en diferentes países o por diferentes organismos que utilizan los mismos valores límite de RF-EMF.

Este código de colores puede no ser apropiado para personas con daltonismo rojo-verde.

**Tabla I.1 - Ejemplo de código de colores para mostrar los niveles del mapa RF-EMF**

Color										
Nombre	Azul Maya	Azul Dodger	Azul Cerulen	Verde claro	Verde lima	Verde	Amarillo dorado	Naranja	Rojo anaranjado	Rojo
Código de color hexadecimal	#73c2fb	#1e90ff	#2a52be	#90ee90	#32cd32	#008000	#ffd900	#ffa500	#ff4500	#ff0000
Porcentaje (P) en relación con el límite del campo E %	$P \leq 1$	$1 < P \leq 2$	$2 < P \leq 4$	$4 < P \leq 8$	$8 < P \leq 15$	$15 < P \leq 20$	$20 < P \leq 35$	$35 < P \leq 50$	$50 < P \leq 100$	$P > 100$

#### I.2 Ejemplo alternativo de código de colores

Es posible que los usuarios de esta Recomendación se vean afectados por el daltonismo. El daltonismo se deriva de las diferentes sensibilidades de los conos de luz del ojo humano y varía en nivel y calidad según la persona. Por esta razón, es difícil recomendar un conjunto de colores que pueda funcionar bien para todas las personas posiblemente afectadas.

Se pueden utilizar esquemas alternativos, por ejemplo, empleando representaciones monocromáticas de niveles con diferentes patrones. En la figura I.1 se identifican dos posibles formas, para los mismos niveles de la tabla I.1. La especificación de un esquema de patrones monocromáticos recomendado queda para un estudio posterior.

Porcentaje	0-1	1-2	2-4	4-8	8-15	15-20	20-35	35-50	50-100	>100
Monocromo patrón 1: niveles de gris										
Monocromo patrón 2: puntas y barras										

**Figura I.1 - Alternativa monocromática a los códigos de colores para mostrar los niveles del mapa de RF-EMF**

## Bibliografía

- [b-ICNIRP 1998] Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (1998), *Directrices para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz)*.
- [b-ICNIRP 2010] Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante (2010), *ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (1Hz -100 kHz)*, Health Physics, Vol. 99, No. 6; pp. 818-836.
- [b-Urbinello] Urbinello D., Joseph W., Huss A., Verloock L., Beekhuizen J., Vermeulen R., Martens L., Rössli M. (2014), *Radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure levels in different European outdoor urban environments in comparison with regulatory limits*, Environment International, Vol 68, pp. 49-54.





## SERIE DE RECOMENDACIONES DE ITU-T

Serie A	Organización de los trabajos del UIT-T
Serie D	Principios tarifarios generales
Serie E	Funcionamiento general de la red, servicio telefónico, funcionamiento del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicaciones no telefónicas
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de televisión, programas de sonido y otras señales multimedia
<b>Serie K</b>	<b>Protección contra las interferencias</b>
Serie L	Medio ambiente y TIC, cambio climático, residuos electrónicos, eficiencia energética; construcción, instalación y protección de cables y otros elementos de la planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de la red
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales de transmisión de programas de sonido y televisión
Serie O	Especificaciones del equipo de medición
Serie P	Terminales y métodos de evaluación subjetivos y objetivos
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales de servicios telegráficos
Serie T	Terminales para servicios telemáticos

Serie U	Conmutación de telégrafos
Serie V	Comunicación de datos a través de la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura global de la información, aspectos del protocolo de Internet y redes de próxima generación, Internet de los objetos y ciudades inteligentes
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales del software para sistemas de telecomunicaciones

Impreso en Suiza Ginebra,  
2016