



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

K.52

(02/2000)

SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS
INTERFERENCIAS

**Orientación sobre el cumplimiento de los límites
de exposición de las personas a los campos
electromagnéticos**

Recomendación UIT-T K.52

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIÓN UIT-T K52

ORIENTACIÓN SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Resumen

La finalidad de la presente Recomendación es facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existe exposición de las personas a campos electromagnéticos (EMF). Presenta orientación general, un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones. El procedimiento de evaluación, basado en los límites de seguridad proporcionados por la ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), ayuda a los usuarios a determinar la probabilidad de que las instala.

Orígenes

La Recomendación UIT-T K.52 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 5 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 25 de febrero de 2000.

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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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.

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 2001

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance	1
2	Referencias.....	1
3	Términos y definiciones.....	2
4	Abreviaturas y acrónimos	5
5	Principios generales	5
5.1	Múltiples fuentes y frecuencias.....	6
5.2	Duración de exposición	6
6	Límites de seguridad de EMF	7
7	Conformidad con los límites de seguridad de EMF.....	7
7.1	Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones...	7
7.1.1	Emisores no intencionales	7
7.1.2	Emisores intencionales	7
7.2	Procedimientos de evaluación de la exposición al EMF	7
7.3	Procedimiento de evaluación del nivel de exposición	8
7.3.1	Esquema de clasificación de la instalación.....	9
7.3.2	Procedimiento para determinar la clase de instalación.....	9
8	Técnicas de evaluación del EMF	10
8.1	Métodos de cálculo	10
8.1.1	Región de campo cercano reactivo	10
8.1.2	Región de campo lejano.....	11
8.2	Procedimientos de medición.....	12
9	Técnicas de reducción.....	13
9.1	Zona ocupacional	13
9.2	Zona de rebasamiento	13
	Anexo A – Diagrama de flujo de aplicación.....	13
	Anexo B – Criterios básicos para determinar la clase de instalación	15
B.1	Fuentes inherentemente conformes.....	15
B.2	Instalaciones normalmente conformes.....	15
B.2.1	Categorías de accesibilidad.....	15
B.2.2	Gamas de frecuencias	18
B.2.3	Categorías de directividad de antena	18
B.2.4	La zona de exclusión	21

	Página
Apéndice I – Límites de la ICNIRP	21
I.1 Límites básicos.....	22
I.2 Niveles de referencia.....	23
I.3 Exposición simultánea a múltiples fuentes.....	25
Apéndice II – Ejemplo de evaluación simple de la exposición al EMF.....	26
II.1 Exposición a nivel del suelo	26
II.2 Exposición en un edificio adyacente.....	28
Apéndice III – Ejemplo de cálculo de $EIRP_{th}$	29
III.1 Los valores de $EIRP_{th}$	29
Apéndice IV – Análisis razonado de los valores de $EIRP_{th}$ de los cuadros del apéndice III ...	36
IV.1 Fuentes inherentemente conformes.....	36
IV.2 Normalmente conforme	36
IV.2.1 Categoría de directividad 1	36
IV.2.2 Categoría de directividad 2.....	37
IV.2.3 Categoría de directividad 3.....	37
Apéndice V – Bibliografía	38

Introducción

La finalidad de la presente Recomendación es facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existe la exposición de las personas a campos electromagnéticos (EMF, *electromagnetic fields*). La Recomendación no impone límites de seguridad; su objetivo es presentar técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad nacionales o internacionales de los EMF.

Recomendación K.52

ORIENTACIÓN SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

(Ginebra, 2000)

1 Alcance

La finalidad de la presente Recomendación es facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad de la exposición de las personas a los campos electromagnéticos (EMF) producidos por equipo de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz¹. La presente Recomendación presenta técnicas y procedimientos para evaluar la gravedad de la exposición a estos campos y para limitar la exposición de los operarios y del público en general a estos campos si se sobrepasan estos límites.

Cuando existen leyes, normas o directrices nacionales sobre los límites de exposición a los EMF, y los procedimientos aplicados presentan variaciones con respecto a los de esta Recomendación, las leyes, normas o directrices nacionales tendrán precedencia sobre los procedimientos presentados en esta Recomendación.

Esta Recomendación trata de la exposición de las personas presentes en los emplazamientos de telecomunicaciones y la exposición de las personas que están fuera de los emplazamientos de telecomunicaciones a los EMF producidos por equipos de telecomunicación y equipos situados en los emplazamientos de telecomunicaciones.

En la presente Recomendación no se trata de la exposición a la corriente de contacto debida a objetos conductivos irradiados por campo electromagnético.

No se trata de la exposición producida por el uso de teléfonos móviles u otros dispositivos radiantes utilizados en proximidad inmediata al cuerpo humano.

La Recomendación UIT-T K.33, *Límites para la seguridad de las personas en relación con el acoplamiento en el sistema de telecomunicaciones de instalaciones de energía eléctrica en c.a. y de instalaciones ferroviarias electrificadas en c.a. en condiciones de avería*, trata de los aspectos de seguridad de las personas que están en contacto con circuitos de telecomunicaciones expuestos a la inducción de las líneas de energía eléctrica en c.a. y de instalaciones ferroviarias electrificadas en c.a.

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.

- CEI 61566 (1997), *Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100 kHz to 1 GHz*.

¹ El apéndice I indica los límites de la ICNIRP también para frecuencias más bajas.

- CEI 60657 (1979), *Non-ionizing radiation hazards in the frequency range from 10 MHz to 300 000 MHz.*
- CEI 60833 (1987), *Measurement of power-frequency electric fields.*

3 Términos y definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 ganancia de antena: La ganancia de antena $G(\theta, \phi)$ es la relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido multiplicado por 4π y la potencia de entrada total. La ganancia se expresa frecuentemente en decibelios con respecto a una antena isotrópica (dBi). La ecuación que define la ganancia es:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi}{P_{in}} \frac{dP_r}{d\Omega}$$

donde:

θ, ϕ son los ángulos en un sistema de coordenadas polares

P_r es la potencia radiada a lo largo de la dirección (θ, ϕ)

P_{in} es la potencia de entrada total

Ω ángulo sólido elemental a lo largo de la dirección de observación

3.2 potencia media (temporal) (P_{avg}): La tasa de transferencia de energía promedio promediada en el tiempo viene definida por:

$$P_{avg} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

donde t_1 y t_2 son respectivamente los instantes inicial y final de exposición. El periodo t_1-t_2 es el tiempo de exposición.

3.3 tiempo de promediación (T_{avg}): El tiempo de promediación es el periodo de tiempo apropiado en el que se promedia la exposición con el fin de determinar el cumplimiento de los límites.

3.4 exposición continua: La exposición continua se define como la exposición durante un tiempo superior al correspondiente tiempo de promediación. La exposición durante un tiempo inferior al de promediación se denomina exposición de corta duración.

3.5 corriente de contacto: La corriente de contacto es la corriente que circula por el cuerpo al tocar un objeto conductor en un campo electromagnético.

3.6 exposición controlada/ocupacional: La exposición controlada/ocupacional se aplica a situaciones en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre la misma. La exposición controlada/ocupacional también se aplica cuando la exposición es de naturaleza transitoria de resultados del paso ocasional por un lugar en el que los límites de exposición puedan ser superiores a los límites no controlados, para la población general, ya que la persona expuesta ha sido advertida del potencial de exposición y puede controlar ésta abandonando la zona o por algún otro medio apropiado.

3.7 directividad: Directividad es la relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido y la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido.

3.8 potencia radiada isótropa equivalente (EIRP, equivalent isotropically radiated power): La EIRP es el producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de antena con relación a una antena isótropa.

3.9 exposición: Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

3.10 nivel de exposición: El nivel de exposición es el valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o a corrientes de contacto.

3.11 exposición no uniforme/exposición corporal parcial: Los niveles de exposición no uniforme/exposición corporal parcial se producen cuando los campos son no uniformes en volúmenes comparables al del cuerpo humano completo, lo cual puede deberse a fuentes altamente direccionales con ondas estacionarias, radiación dispersa o en el campo cercano.

3.12 región de campo lejano: La región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia con respecto a la antena. En la región de campo lejano el campo es predominantemente del tipo onda plana, es decir, distribución localmente uniforme de la intensidad de campo eléctrico y de la intensidad de campo magnético en planos transversales a la dirección de propagación.

3.13 público en general: Todos los no operarios (véase definición de operarios en 3.27) se definen como público en general.

3.14 corriente inducida: Corriente que se induce dentro del cuerpo de resultas de la exposición directa a los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.

3.15 emisor intencional: Dispositivo que genera y emite intencionalmente energía electromagnética por radiación o inducción.

3.16 región de campo cercano: La región de campo cercano existe en las proximidades de una antena u otra estructura radiante en la que los campos eléctricos y magnéticos no son sustancialmente de tipo onda plana, sino que varían considerablemente de punto a punto. La región de campo cercano se subdivide todavía en la región de campo cercano reactivo, que es más próxima a la estructura radiante y que contiene la mayor parte o casi la totalidad de la energía almacenada, y la región de campo cercano radiante, en la que el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero que no es sustancialmente de tipo onda plana y tiene una estructura complicada.

NOTA – En muchas antenas, la frontera exterior del campo cercano reactivo se supone que se halla a una distancia de media longitud de onda de la superficie de la antena.

3.17 densidad de potencia (S): La densidad de flujo de potencia es la potencia por unidad de superficie normal a la dirección de la propagación de las ondas electromagnéticas, y suele expresarse en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2).

NOTA – En las ondas planas, la densidad de flujo de potencia, la intensidad de campo eléctrico (E) y la intensidad de campo magnético (H) están relacionadas con la impedancia intrínseca del espacio libre, $\eta_0 = 377 \Omega$. En particular,

$$S = \frac{E^2}{\eta_0} = \eta_0 H^2 = EH$$

donde E y H se expresan en unidades de V/m y A/m , respectivamente, y S en unidades de W/m^2 . Aunque muchos instrumentos indican unidades de densidad de potencia, las magnitudes reales medidas son E o H .

3.18 densidad de potencia media (temporal): La densidad de potencia media es igual a la densidad de potencia instantánea integrada a lo largo de un periodo de repetición de origen.

NOTA – Esta promediación no debe confundirse con el tiempo de promediación de medición.

3.19 densidad de potencia de cresta: La densidad de potencia de cresta es la máxima densidad de potencia instantánea que se produce cuando se transmite potencia.

3.20 densidad de potencia de onda plana equivalente (S_{eq}): La densidad de potencia de onda plana equivalente es un término que suele utilizarse asociado con cualquier onda electromagnética, de igual magnitud que la densidad de flujo de potencia de una onda plana que tiene la misma intensidad de campo eléctrico (E) o magnético (H).

3.21 diagrama de campo relativo: El diagrama de campo relativo $f(\theta, \phi)$ se define en esta Recomendación como la relación entre el valor absoluto de la intensidad de campo (que arbitrariamente se supone que es el campo eléctrico) y el valor absoluto de la intensidad de campo máxima. Está relacionado con la ganancia numérica relativa (véase 3.22) como sigue:

$$f(\theta, \phi) = \sqrt{F(\theta, \phi)}$$

3.22 ganancia numérica relativa: La ganancia numérica relativa $F(\theta, \phi)$ es la relación entre la ganancia de antena en cada ángulo y la ganancia de antena máxima. Es un valor que varía de 0 a 1. Se denomina también diagrama de antena.

3.23 exposición de corta duración: El término exposición de corta duración designa la exposición de duración inferior al correspondiente tiempo de promediación.

3.24 absorción específica (SA , *specific absorption*): La absorción específica es el cociente de la energía incremental (dW) absorbida por (disipada en) una masa incremental (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad dada (ρ_m).

$$SA = \frac{dW}{dm} = \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV}$$

La absorción específica se expresa en unidades de julios por kilogramo (J/kg).

3.25 tasa de absorción específica (SAR , *specific absorption rate*): La derivada en el tiempo de la energía incremental (dW) absorbida por (disipada en) una masa incremental (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad de masa dada (ρ_m).

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV} \right)$$

SAR se expresa en unidades de vatios por kilogramo (W/kg).

SAR puede calcularse por:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$
$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$
$$SAR = \frac{J^2}{\rho_m \sigma}$$

donde:

E es el valor de la intensidad de campo eléctrico en el tejido corporal en V/m

σ es la conductividad del tejido corporal en S/m

ρ_m es la densidad del tejido corporal en kg/m³

c es la capacidad térmica del tejido corporal en J/kg°C

$\frac{dT}{dt}$ es la derivada en el tiempo de la temperatura del tejido corporal en °C/s

J es el valor de la densidad de corriente inducida en el tejido corporal en A/m²

3.26 exposición no controlada de la población general: La exposición no controlada de la población general se aplica a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas del potencial de exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.

3.27 operarios: El personal empleado y el personal autónomo se denominan operarios, mientras están ejerciendo su empleo.

3.28 emisor no intencional: Dispositivo que genera intencionalmente energía electromagnética para utilización dentro del dispositivo, o que envía energía electromagnética por conducción a otros equipos, pero no destinado a emitir o a radiar energía electromagnética por radiación o inducción.

3.29 longitud de onda (λ): La longitud de onda de una onda electromagnética está relacionada con la frecuencia (f) y la velocidad (v) de una onda electromagnética por la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

En el espacio libre, la velocidad es igual a la velocidad de la luz (c), que es aproximadamente 3×10^8 m/s.

4 Abreviaturas y acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

EIRP	Potencia radiada isótropa equivalente (<i>equivalent isotropically radiated power</i>)
EMC	Compatibilidad electromagnética (<i>electromagnetic compatibility</i>)
EMF	Campo electromagnético (<i>electromagnetic field</i>)
ICNIRP	Comisión Internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>)
SA	Absorción específica (<i>specific absorption</i>)
SAR	Tasa de absorción específica (<i>specific absorption rate</i>)

5 Principios generales

Hay muchos documentos nacionales e internacionales que indican límites de seguridad de exposición de las personas a los EMF. Aunque estos documentos difieren en los detalles, la mayoría tienen varios principios básicos en común, entre los que se hallan el uso de límites básicos y derivados, el uso de límites de exposición a dos niveles, tiempos de promediación, y consideración separada de la exposición a los campos de baja frecuencia y alta frecuencia.

La mayoría de los documentos indican límites de seguridad en forma de niveles básicos y niveles de referencia (o derivados). Los límites básicos corresponden a las magnitudes fundamentales que determinan la respuesta física o lógica del cuerpo humano a los campos electromagnéticos. Los límites básicos se aplican a una situación en la que el cuerpo está presente en el campo. Los límites básicos de exposición de las personas se expresan en forma de tasa de absorción específica (*SAR, specific absorption rate*), absorción específica (*SA, specific absorption*) y densidad de corriente.

Como las magnitudes básicas son difíciles de medir directamente, la mayoría de los documentos indican niveles derivados (de referencia) de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia. Los límites derivados pueden rebasarse si puede demostrarse que la condición de exposición produce *SAR*, *SA* y una densidad de corriente inducida por debajo de los límites básicos. Los límites derivados se aplican a una situación en la que el campo electromagnético no es influenciado por la presencia de un cuerpo.

La mayoría de los documentos utilizan una estructura de límites a dos niveles, en la que se especifican niveles inferiores para la exposición no controlada del público en general que para la exposición controlada/ocupacional.

Es importante resaltar que los límites de exposición no son límites de emisión; se aplican a lugares accesibles a los operarios o miembros del público en general. Por tanto, es posible conseguir el cumplimiento limitando el acceso a zonas en las que se sobrepasan los límites de campo.

5.1 Múltiples fuentes y frecuencias

La mayoría de los documentos exigen que se consideren los efectos de múltiples fuentes. Debido al diferente efecto fisiológico de las fuentes de frecuencias más bajas y las fuentes de frecuencias más altas, deben considerarse por separado. En las frecuencias más bajas (ordinariamente inferiores a 10 MHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la densidad de corriente inducida, mientras que a las frecuencias más altas (ordinariamente superiores a 100 kHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la *SAR*.

Para considerar los efectos de las múltiples fuentes, la mayoría de los documentos requieren que las fuentes se consideren en una suma ponderada, en la que cada fuente individual se prorratee de acuerdo con el límite aplicable a su frecuencia. El apéndice I presenta el procedimiento en las directrices de la ICNIRP.

5.2 Duración de exposición

La mayoría de los documentos definen los límites de exposición en forma de magnitudes promediadas en un periodo de tiempo denominado tiempo de promediación. En caso de exposición de corta duración inferior al tiempo de promediación, el límite aplicable es:

$$\sum_i X_i^2 t_i \leq X_l^2 t_{avg}$$

donde:

X_i es el campo (*E* o *H*) durante la exposición *i*

t_i es la duración de exposición *i*

X_l es el límite de referencia, y

t_{avg} es el tiempo de promediación apropiado

El límite de densidad de potencia es:

$$\sum_i S_i t_i \leq S_l t_{avg}$$

donde:

S_i es la densidad de potencia durante la exposición *i*

t_i es la duración de exposición *i*

S_l es el límite de referencia, y

t_{avg} es el tiempo de promediación apropiado

6 Límites de seguridad de EMF

En muchos casos los organismos de reglamentación o de normalización locales o nacionales publican los límites de seguridad de EMF. Si no existen estos límites o si no cubren las frecuencias de interés, deben utilizarse los límites de la ICNIRP (apéndice I).

7 Conformidad con los límites de seguridad de EMF

Para que exista conformidad deben adoptarse las siguientes medidas:

- 1) Identificar los límites de conformidad adecuados.
- 2) Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición al EMF para la instalación o el equipo en cuestión. (Véase 7.1.)
- 3) Si es necesaria la evaluación de la exposición al EMF, puede realizarse mediante cálculos o medición. Esta Recomendación presenta un método de evaluación de riesgos para ayudar al usuario a determinar la posibilidad de que puedan sobrepasarse los límites de exposición al EMF y para ayudar al usuario a seleccionar un método apropiado para efectuar la evaluación.
- 4) Si la evaluación de la exposición al EMF indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas en las que puede haber presentes personas, deben aplicarse medidas de reducción o de evitación.

7.1 Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones

El equipo de telecomunicaciones debe clasificarse como emisor de EMF intencional o no intencional con arreglo a las definiciones. Un emisor intencional suele estar asociado con una antena para la radiación de energía electromagnética.

7.1.1 Emisores no intencionales

Los transmisores no intencionales pueden producir EMF debido a emisiones espurias. Hay normas de emisión de compatibilidad electromagnética (EMC, *electromagnetic compatibility*) que limitan la magnitud de estos campos espurios. Los campos producidos por equipo de telecomunicaciones como es un emisor no intencional, suelen estar apreciablemente por debajo de los límites de seguridad establecidos por las normas de la ICNIRP y las normas nacionales. Los límites establecidos de conformidad EMC están a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad del EMF. Aun si el equipo sobrepasa los límites de emisión a ciertas frecuencias, la experiencia indica que los campos producidos se hallan aún a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad. Por tanto, equipo de telecomunicaciones tal como un emisor no intencional no necesita una evaluación de seguridad del EMF para asegurar la conformidad con los límites de seguridad.

7.1.2 Emisores intencionales

Los emisores intencionales utilizan campos electromagnéticos para la transmisión de señales. Producen un EMF que puede sobrepasar los límites de seguridad en algunas regiones, dependiendo de la potencia del funcionamiento, ganancia, frecuencia, orientación y directividad de la antena de transmisión. Es posible tener en cuenta estos parámetros y el entorno operativo de la instalación para determinar la necesidad y el procedimiento apropiado de evaluación de la exposición. Esta Recomendación presenta un método de evaluación de riesgos basado en la clasificación de las zonas de exposición.

7.2 Procedimientos de evaluación de la exposición al EMF

Si se determina que se necesita una evaluación de la exposición al EMF debido a la presencia de transmisores intencionales, debe realizarse para todos los lugares en los que las personas podrían

estar expuestas al EMF. El objetivo de la evaluación es clasificar la exposición potencial al EMF como perteneciente a una de las tres zonas siguientes:

- 1) **Zona de conformidad:** En la zona de conformidad, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general.
- 2) **Zona ocupacional:** En la zona ocupacional, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.
- 3) **Zona de rebasamiento:** En la zona de rebasamiento, la exposición potencial al EMF sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

En muchas instalaciones, la zona de rebasamiento y la zona ocupacional no son accesibles a las personas, y sólo son accesibles en circunstancias excepcionales, como cuando hay una persona de pie inmediatamente delante de la antena. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta Recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales. Véase la figura 1.

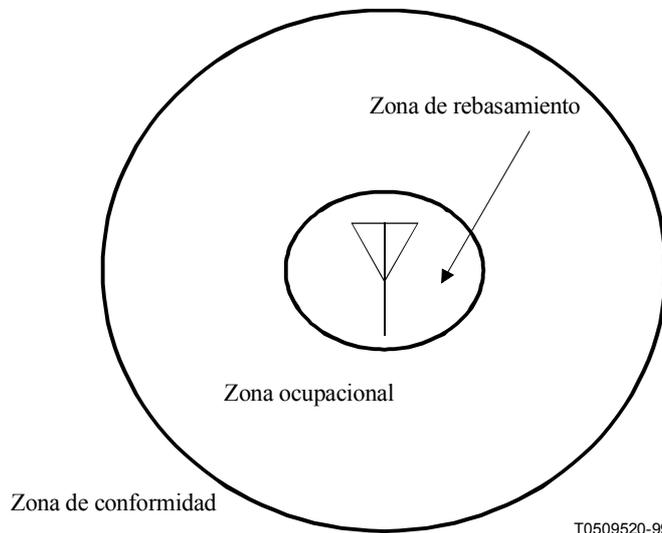


Figura 1/K.52 – Ilustración figurada de las zonas de exposición

7.3 Procedimiento de evaluación del nivel de exposición

El nivel de exposición considerará:

- las condiciones de emisión más desfavorables;
- la presencia simultánea de varias fuentes de EMF, aun a diferentes frecuencias.

Deben considerarse los siguientes parámetros:

- la EIRP máxima del sistema de antena [véase definición: potencia isotropa radiada equivalente (*EIRP*)];
- la ganancia de antena G o la ganancia numérica relativa F (véase definición: ganancia de antena), incluida la máxima ganancia y la máxima anchura de haz;
- la frecuencia de explotación;

- diversas características de la instalación, como la ubicación de la antena, altura de la antena, dirección del haz, inclinación del haz y la evaluación de la probabilidad de que una persona pueda estar expuesta al EMF.

Para la gestión del procedimiento y de estos parámetros, se introduce el siguiente esquema de clasificación.

7.3.1 Esquema de clasificación de la instalación

Cada una de las instalaciones emisoras debe clasificarse en las tres clases siguientes:

- 1) **Inherentemente conformes:** Las fuentes inherentemente seguras producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares.
- 2) **Normalmente conformes:** Las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen un EMF que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, como resultado de prácticas de instalación normales y del uso típico de estas fuentes para fines de comunicación, la zona de rebasamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones ordinarias. Ejemplos son las antenas montadas en torres suficientemente altas o las estaciones terrenas de haz estrecho apuntadas al satélite. Puede ser necesario que el personal de mantenimiento que tenga que acercarse mucho a los emisores tenga que adoptar precauciones en algunas instalaciones normalmente conformes.
- 3) **Provisionalmente conformes:** Estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición y las medidas presentadas en la cláusula 9.

7.3.2 Procedimiento para determinar la clase de instalación

Cada clase de instalación debe clasificarse dentro de una de las clases de instalación definidas en 7.3.1. Se prevé que los operadores que presten un determinado servicio de telecomunicación utilicen un conjunto limitado de antenas y equipo asociado de características bien definidas. Además, las condiciones de instalación y de exposición de muchos emplazamientos de emisores serán probablemente similares. Por tanto, es posible definir un conjunto de configuraciones de referencia, de condiciones de exposición de referencia y los correspondientes parámetros críticos que permitirán una clasificación conveniente de los emplazamientos.

Un procedimiento útil es el siguiente:

- 1) Definir un conjunto de referencia de parámetros de antena o de tipos de antena. Estas categorías pueden particularizarse a los tipos de emisores utilizados en la aplicación considerada.
- 2) Definir un conjunto de condiciones de accesibilidad. Estas categorías dependen de la accesibilidad de las personas a las diversas zonas próximas al emisor. Estas categorías pueden particularizarse al entorno de la instalación que se dé más ordinariamente en el servicio o aplicación considerado.
- 3) Para cada combinación parámetros de antena de referencia y condición de accesibilidad, determinar la EIRP umbral. Esta EIRP umbral, que se designará por $EIRP_{th}$, es el valor que corresponde al límite de exposición para la densidad de potencia o campo procedente de la antena de referencia para la condición de accesibilidad. La determinación puede efectuarse por los métodos de cálculo o las mediciones que se describen en 7.3.2.1 y en la cláusula 8. Siempre que las categorías sean suficientemente abiertas, esta determinación sólo necesitará realizarse una vez en la mayoría de las instalaciones.
- 4) Una instalación pertenece a la clase inherentemente conforme si el emisor es inherentemente conforme (se ha definido antes). No hay necesidad de considerar otros aspectos de la instalación.

NOTA – El apéndice IV muestra que una fuente inherentemente conforme para límites ICNIRP tiene una EIRP menor que 2 W.

- 5) Para cada emplazamiento, una instalación pertenece a la clase normalmente conforme si se cumple el criterio siguiente:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

donde $EIRP_i$ es la potencia radiada promediada temporal de la antena a una frecuencia i , y $EIRP_{th,i}$ es el umbral de EIRP correspondiente a los parámetros de antena y condiciones de accesibilidad considerados. Para la instalación de múltiples antenas, es necesario distinguir las dos condiciones siguientes:

- Si la fuente tiene diagramas de radiación superpuestos y se considera la anchura de haz a potencia mitad, la respectiva EIRP máxima promediada en el tiempo debe satisfacer el criterio.
 - Si no hay superposición de las múltiples fuentes, se considerarán independientemente.
- 6) Los emplazamientos que no cumplen las condiciones para clasificarlos normalmente conformes se consideran provisionalmente conformes.

Para los emplazamientos en los que la aplicación de estas categorías es ambigua, necesitarán realizarse cálculos o mediciones adicionales.

El anexo B presenta un conjunto de configuraciones básicas, consideraciones de exposición, parámetros, y valores pertinentes de $EIRP_{th}$. El conjunto del anexo B debe utilizarse como conjunto por defecto a menos que el operador defina otro conjunto que sea apropiado para una instalación de un servicio dado y realiza el análisis de exposición pertinente.

7.3.2.1 Determinación de la $EIRP_{th}$

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Determinar el campo o la densidad de potencia para cada punto O, en el que puede producirse exposición, para una antena concreta.
- 2) Determinar la densidad de potencia máxima $S_{m\acute{a}x}$ dentro de la zona de exposición correspondiente a este conjunto.
- 3) La condición $S_{m\acute{a}x} = S_{l\acute{i}m}$ de la $EIRP_{th}$ donde $S_{l\acute{i}m}$ es el límite pertinente que indica la norma de exposición al EMF a la frecuencia considerada.

Este procedimiento puede efectuarse mediante los cálculos presentados en 8.1, por otros métodos de cálculo más exactos o por mediciones. Si se utilizan mediciones, es necesario efectuarlas en cierto número de lugares representativos para cada configuración de accesibilidad y tipo de antena.

8 Técnicas de evaluación del EMF

Esta cláusula presenta métodos que pueden utilizarse para evaluar el EMF.

8.1 Métodos de cálculo

8.1.1 Región de campo cercano reactivo

En la región de campo reactivo, los campos eléctricos y magnéticos deben considerarse por separado. En ausencia de objetos distorsionantes del campo, los campos pueden calcularse utilizando fórmulas cuasiestáticas si se conoce una distribución en curso.

8.1.2 Región de campo lejano

El texto que sigue proporciona métodos para estimar conservadoramente los niveles de intensidad de campo y de densidad de potencia.

Para una antena radiante simple, la densidad de potencia aproximada radiada en la dirección descrita por los ángulos θ (complementario del ángulo de elevación) y ϕ (ángulo de acimut) pueden evaluarse por la expresión siguiente:

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

donde:

$S(R, \theta, \phi)$ es la densidad de potencia en W/m^2

$f(\theta, \phi)$ es el diagrama de radiación relativo de la antena (número positivo entre 0 y 1)

EIRP es la EIRP de la antena en W

ρ es el valor absoluto (módulo) del coeficiente de reflexión y tiene en cuenta la onda reflejada por el suelo. En algunos casos puede bloquearse la exposición a la onda reflejada, por lo que ρ debe fijarse a 0

R es la distancia entre el punto central de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta

R' es la distancia entre el punto central de la imagen de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta

A nivel próximo al suelo, los valores de las variables primas son aproximadamente iguales a las que no tienen prima, por lo que la potencia puede calcularse por:

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho)^2 \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi)$$

donde:

$F(\theta, \phi)$ Es la ganancia numérica relativa de la ganancia con respecto a un radiador isótropo (número positivo entre 0 y 1)

El coeficiente de reflexión ρ de una tierra de conductividad σ , permitividad $\epsilon = \kappa \epsilon_0$ (ϵ_0 = permitividad de vacío) y un ángulo rasante de incidencia Ψ es:

$$\rho = \left| \frac{(\kappa - j\chi) \sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{(\kappa - j\chi) \sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \right| \quad \text{polarización vertical}$$

$$\rho = \left| \frac{\sin \Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{\sin \Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}} \right| \quad \text{polarización horizontal}$$

donde:

$$\chi = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$$

En general, la onda reflejada contiene componentes en polarización vertical u horizontal que varían con el ángulo de incidencia. Sin embargo, en muchas aplicaciones, es suficiente considerar sólo la polarización predominante de la onda incidente al calcular el coeficiente de reflexión.

Las distancias y ángulos se definen en la figura 2. Se supone que la exposición se evalúa en el punto O.

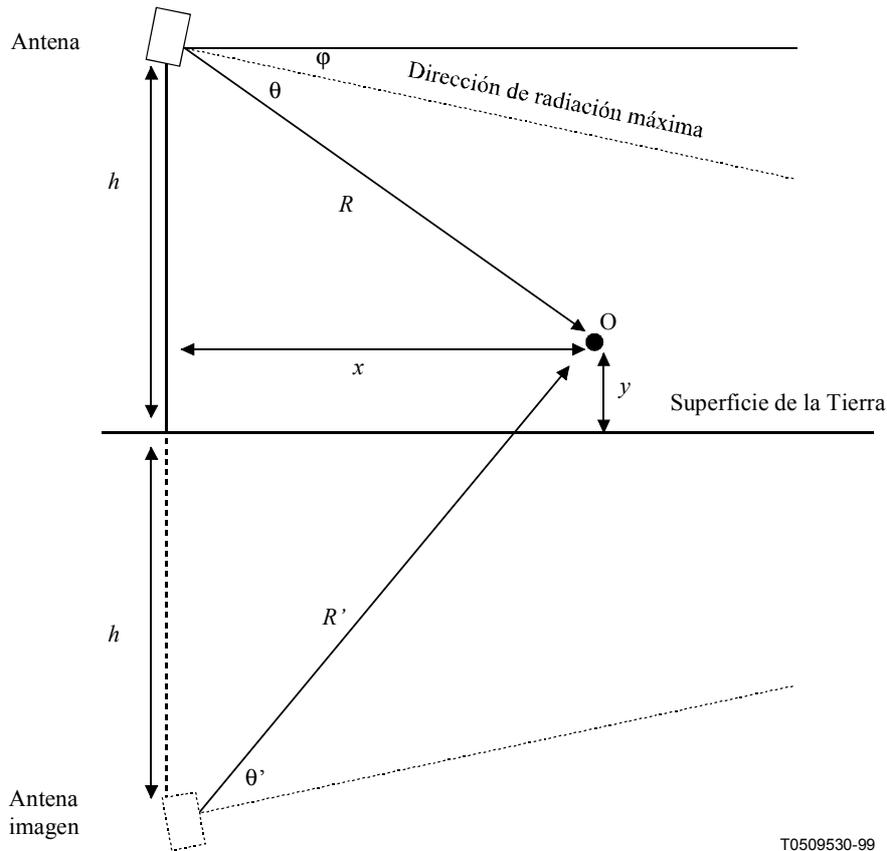


Figura 2/K.52 – Definición de las distancias y ángulos verticales

Para emplazamientos situados en tejados, la atenuación causada por los materiales de construcción de las paredes y el tejado puede reducir la exposición dentro de un edificio al menos en 10-20 dB.

Los campos eléctrico y magnético se calculan utilizando:

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

donde $\eta_0 = 377 \Omega$ es la impedancia intrínseca del espacio libre.

Las ecuaciones anteriores son válidas para la región de campo lejano. Su utilización en la región de campo cercano puede arrojar resultados inexactos (excesivamente conservadores). Por tanto, estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar el cumplimiento de los límites de exposición al EMF.

8.2 Procedimientos de medición

Las mediciones son útiles en los casos en que los campos son difíciles de calcular y en que los cálculos arrojan valores cercanos al umbral del límite de exposición. Deben consultarse las publicaciones enumeradas en la cláusula 2 y cualesquiera normas nacionales aplicables para disponer de información detallada sobre la medición del EMF. Además, algunas publicaciones citadas en la bibliografía (apéndice V) contienen información detallada sobre los campos EMF a diversas frecuencias.

Cuando se mide el EMF, es necesario primero determinar la gama de frecuencias en la que se requiere la determinación de EMF basándose en las características de los emisores pertinentes. Los instrumentos de medición deben seleccionarse consecuentemente. Puede utilizarse un único instrumento de banda ancha o una combinación de varios instrumentos de banda estrecha (o mediciones) para caracterizar los campos en una determinada gama de frecuencias.

9 Técnicas de reducción

Es necesario controlar la exposición al EMF en lugares accesibles a personas cuando el EMF sobrepasa los límites de seguridad de exposición al EMF. Una forma efectiva de controlar la exposición, cuando no es posible cambiar otras características de la instalación, es restringir el acceso a las zonas en las que se sobrepasan los límites.

9.1 Zona ocupacional

Si el EMF sobrepasa los límites de exposición no controlada del público en general, pero no así los límites de exposición ocupacional, debe entonces restringirse el acceso al público en general, pero puede permitirse a los operarios penetrar en la zona. La restricción de acceso puede conseguirse con barreras físicas, procedimientos de cierre o letreros adecuados. Debe informarse a los operarios que penetren en la zona ocupacional.

Se recomienda no colocar un puesto de trabajo permanente en la zona ocupacional.

9.2 Zona de rebasamiento

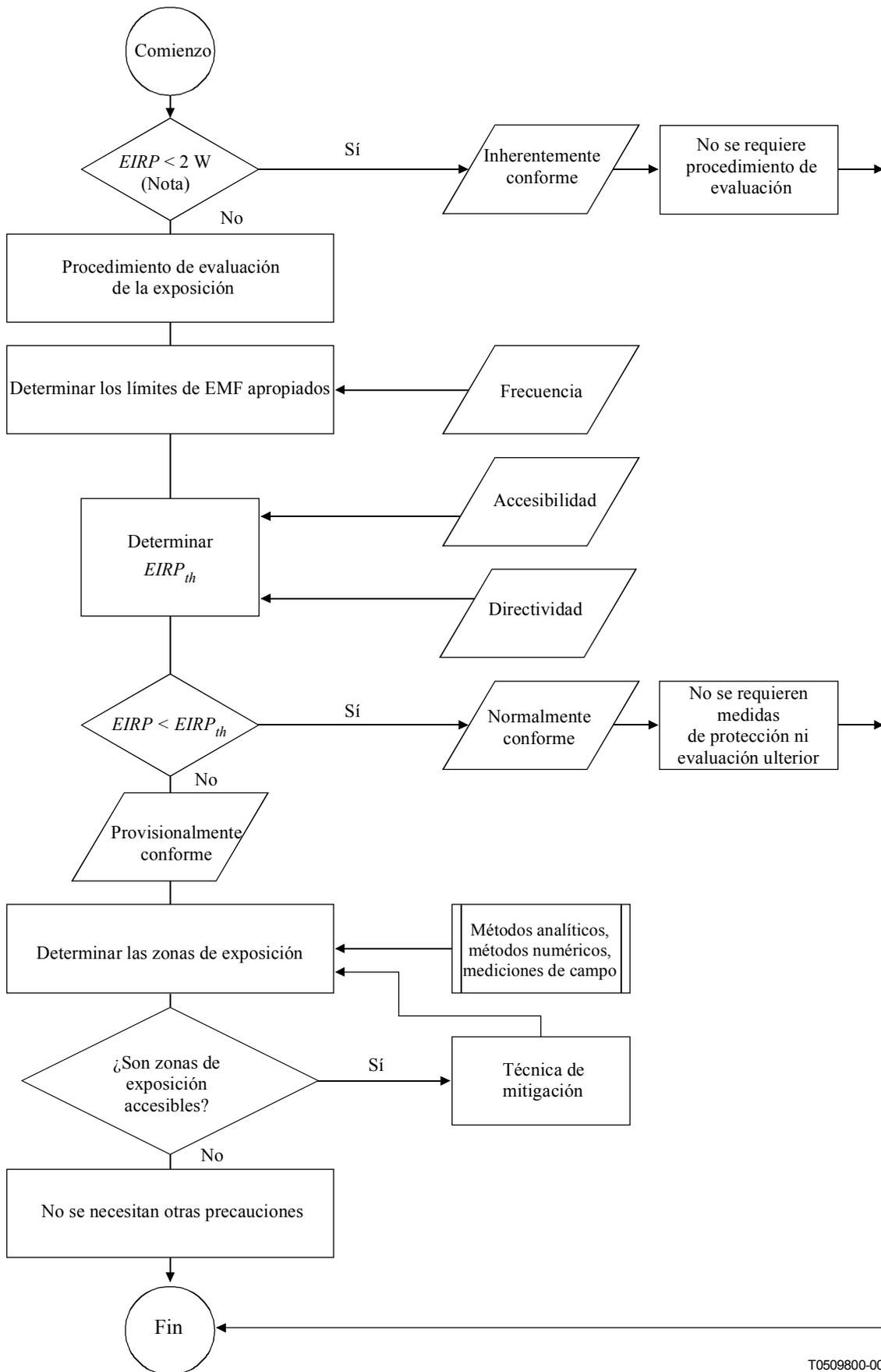
Cuando el EMF sobrepasa los límites de exposición ocupacional, debe restringirse el acceso a los operarios y al público en general. Si es necesario que entren operarios en la zona, deben adoptarse medidas para controlar la exposición de los mismos. Dichas medidas incluyen:

- reducción temporal de la potencia del emisor;
- control de la duración de la exposición de manera que la exposición promediada en el tiempo se halle dentro de los límites de seguridad;
- blindaje o utilización de ropas de protección.

ANEXO A

Diagrama de flujo de aplicación

El presente anexo presenta el diagrama de flujo de la evaluación de la exposición para una sola fuente EMF.



NOTA – Véase el apéndice IV.

T0509800-00

ANEXO B

Criterios básicos para determinar la clase de instalación

El texto que sigue facilita la clasificación de la instalación en base a los límites de la ICNIRP. Los criterios se basan en una estimación conservadora de la doble exposición al EMF en las diversas situaciones descritas a continuación.

B.1 Fuentes inherentemente conformes

Los emisores con una $EIRP$ máxima de 2 W o menos se clasifican como inherentemente conformes salvo para antena de microondas de pequeña apertura y baja ganancia o antenas de ondas milimétricas donde la potencia de radiación total de 100 mW o menos se puede considerar como inherentemente conforme. No se estima necesaria ninguna otra acción.

Además, cuando el emisor está construido de manera que el acceso a cualquier zona en la que puedan sobrepasarse los límites de exposición está impedido por la construcción del dispositivo radiante, se clasifica como inherentemente conforme.

B.2 Instalaciones normalmente conformes

Los criterios indicados para determinar si una instalación es normalmente conforme comprenden tres características de las instalaciones: la accesibilidad y la directividad de la antena, la frecuencia del campo radiado. Estas características se describen en B.2.1, B.2.2 y B.2.3.

Los valores de $EIRP_{th}$ que han de ser comparados con la $EIRP$ de la instalación pueden ser determinados considerando las características indicadas anteriormente. En el apéndice III se describe una manera posible de definir la $EIRP_{th}$.

B.2.1 Categorías de accesibilidad

En esta subcláusula se definen las categorías de accesibilidad. Estas categorías, que dependen de las circunstancias en la instalación, evalúan la probabilidad de que una persona pueda acceder a la zona de rebasamiento del emisor. Véase el cuadro B.1.

Cuadro B.1/K.52 – Categorías de accesibilidad

Categoría de accesibilidad	Circunstancias de la instalación	Figura de referencia
1	<p>La antena está instalada en una torre inaccesible – el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la constricción $h > 3$ m.</p> <p>La antena está instalada en una estructura públicamente accesible (por ejemplo, en un tejado) – el centro de radiación está a una altura h por encima de la estructura.</p>	Figura B.1
2	<p>La antena está instalada al nivel del suelo – el centro de radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general y, de una altura aproximada h situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación. Existe la constricción $h > 3$ m.</p>	Figura B.2
3	<p>La antena está instalada al nivel del suelo – el centro de radiación está a una altura h ($h > 3$ m) sobre el suelo. Hay un edificio adyacente o estructura accesible al público en general de aproximadamente h' situado a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación.</p>	Figura B.3
4	<p>La antena está instalada en una estructura a una altura h ($h > 3$ m). Hay una zona de exclusión asociada con la antena. Se definen dos geometrías para la zona de exclusión:</p> <ul style="list-style-type: none"> – una zona circular con un radio a rodea la antena; o – una zona circular de tamaño $a \times b$ delante de la antena. 	Figura B.4 Figura B.5

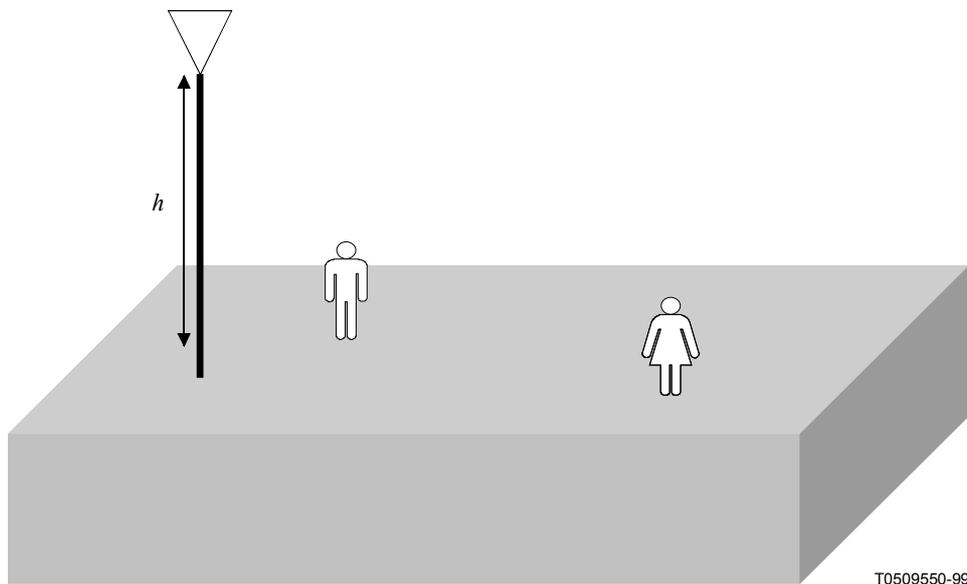


Figura B.1/K.52 – Ilustración de la categoría de accesibilidad 1

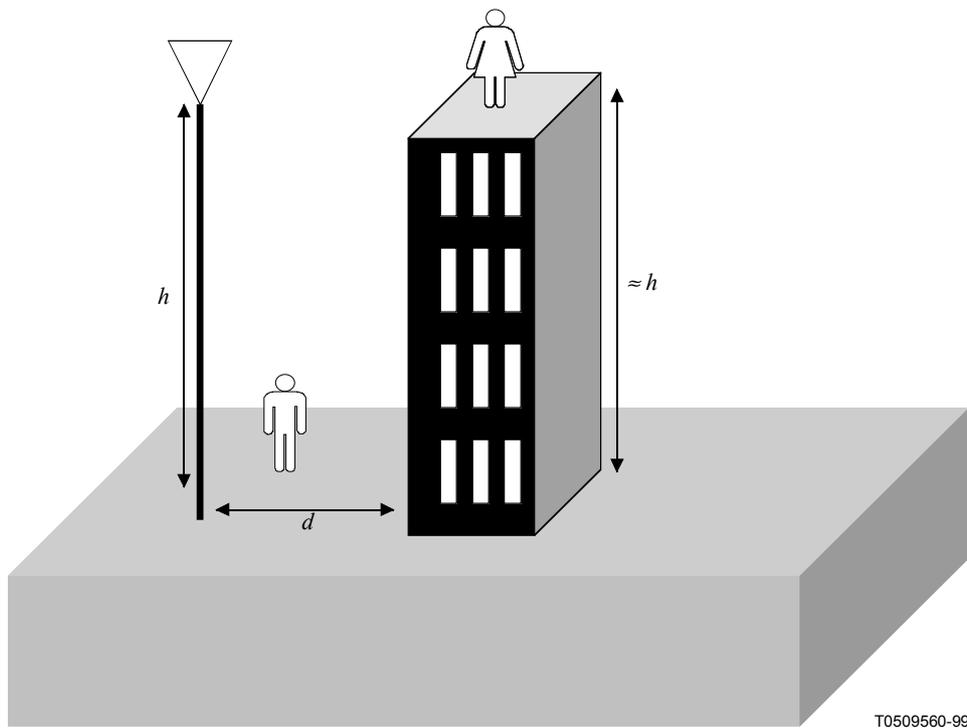


Figura B.2/K.52 – Ilustración de la categoría de accesibilidad 2

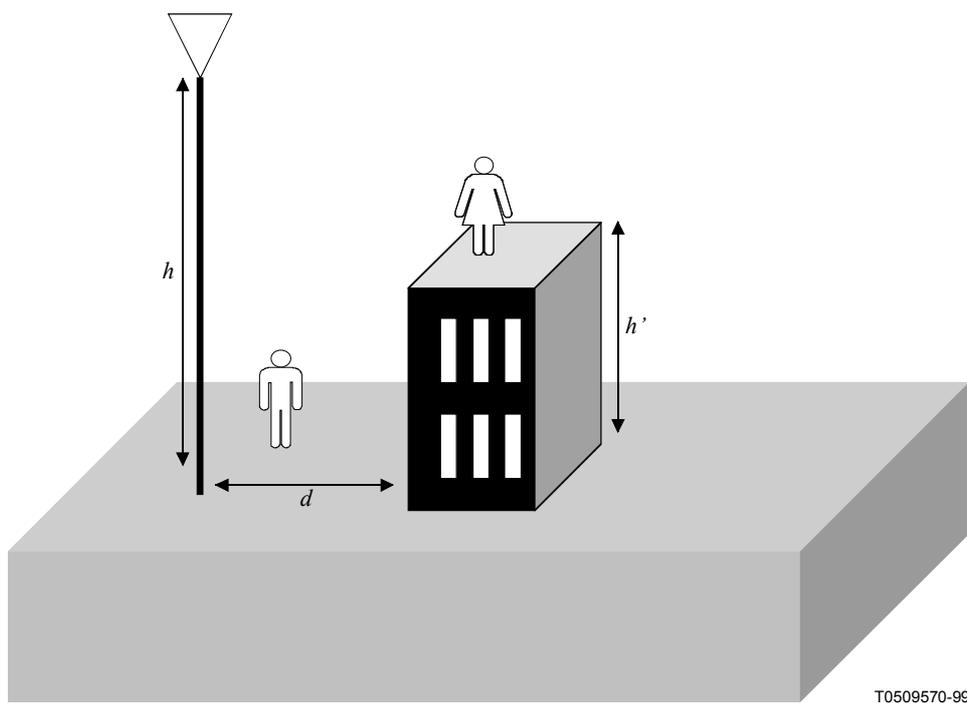


Figura B.3/K.52 – Ilustración de la categoría de accesibilidad 3

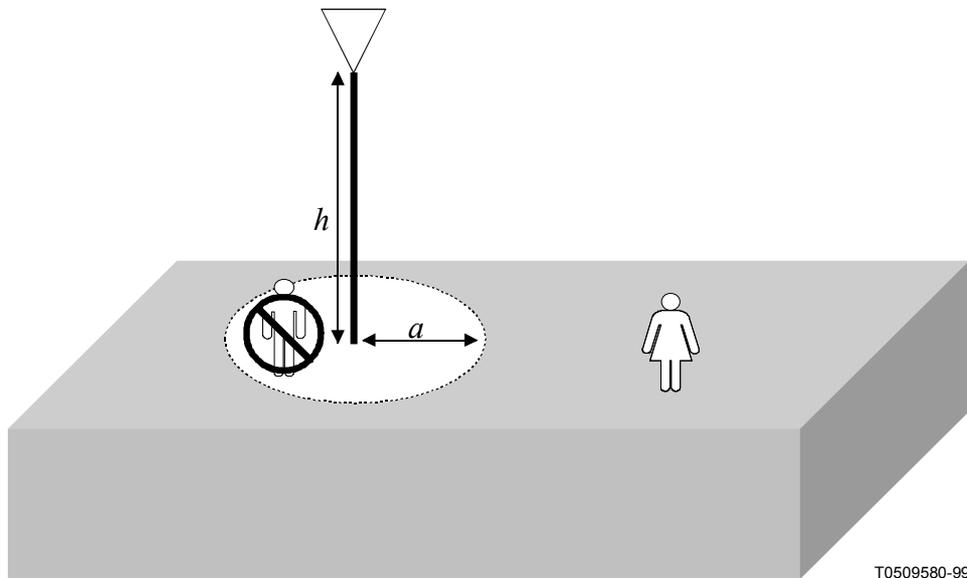


Figura B.4/K.52 – Ilustración de la categoría de accesibilidad 4, zona de exclusión circular

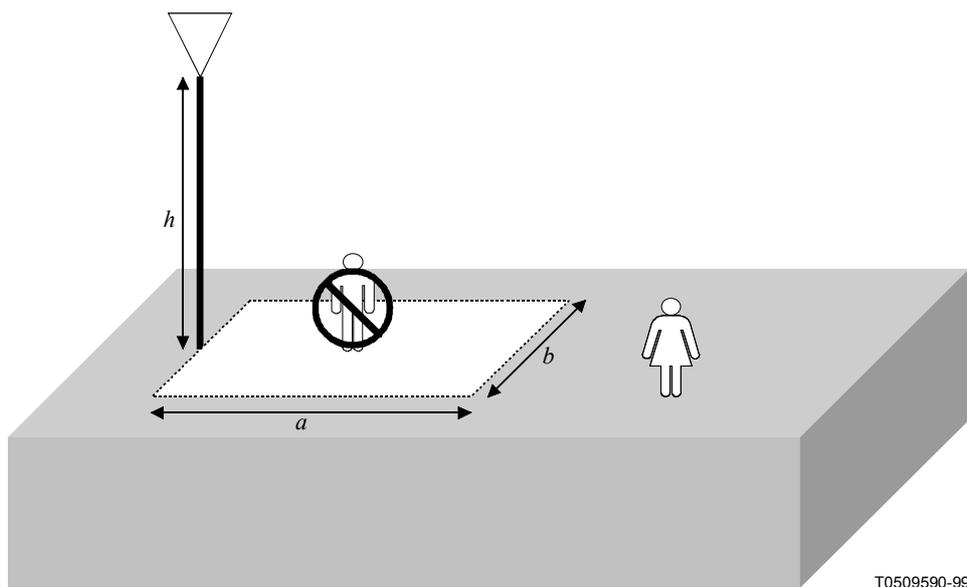


Figura B.5/K.52 – Ilustración de la categoría de accesibilidad 4, zona de exclusión rectangular

B.2.2 Gamas de frecuencias

La frecuencia portadora determina el límite de exposición para la densidad de potencia radiada, $S_{lim}(f)$ que se indica en las normas de exposición a campos electromagnéticos.

B.2.3 Categorías de directividad de antena

La directividad de la antena es importante porque determina el diagrama de exposición potencial. Una alta directividad significa que la mayor parte de la potencia radiada está concentrada en un haz estrecho, lo que puede permitir el control adecuado de las zonas de exposición.

El diagrama de antena es un determinante primordial y un factor frecuentemente variante al determinar el campo. El cuadro B.2 presenta una descripción para facilitar la clasificación de antenas en categorías genéricas. El parámetro más importante para determinar la exposición debida a antenas elevadas es el diagrama de antena vertical (de elevación). El diagrama horizontal (acimut) no es pertinente, porque la evaluación de la exposición supone una exposición a lo largo de la dirección de máxima radiación en el plano horizontal.

Obsérvese, sin embargo, que los diagramas vertical y horizontal determinan la ganancia de antena, y que el diagrama horizontal determina la zona de exclusión para la categoría de accesibilidad 4.

Cuadro B.2 /K.52 – Categorías de directividad de antena

Categoría de directividad	Descripción de la antena	Parámetros pertinentes
1	Dipolo de media onda	Ninguno Véase la figura B.6
2	Antena de cobertura amplia (omnidireccional o seccional), como las que se utilizan para la comunicación inalámbrica o la radiodifusión	<ul style="list-style-type: none"> • Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} • Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: A_{sl} • Inclinación del haz: α Véase la figura B.7
3	Antena de elevada ganancia que produce un "lápiz" (haz circularmente simétrico), como los utilizados para la comunicación punto a punto o las estaciones terrenas	<ul style="list-style-type: none"> • Anchura de haz a potencia mitad vertical: θ_{bw} • Máxima amplitud de lóbulo lateral con respecto a la amplitud máxima: A_{sl} • Inclinación del haz: α Véase la figura B.7

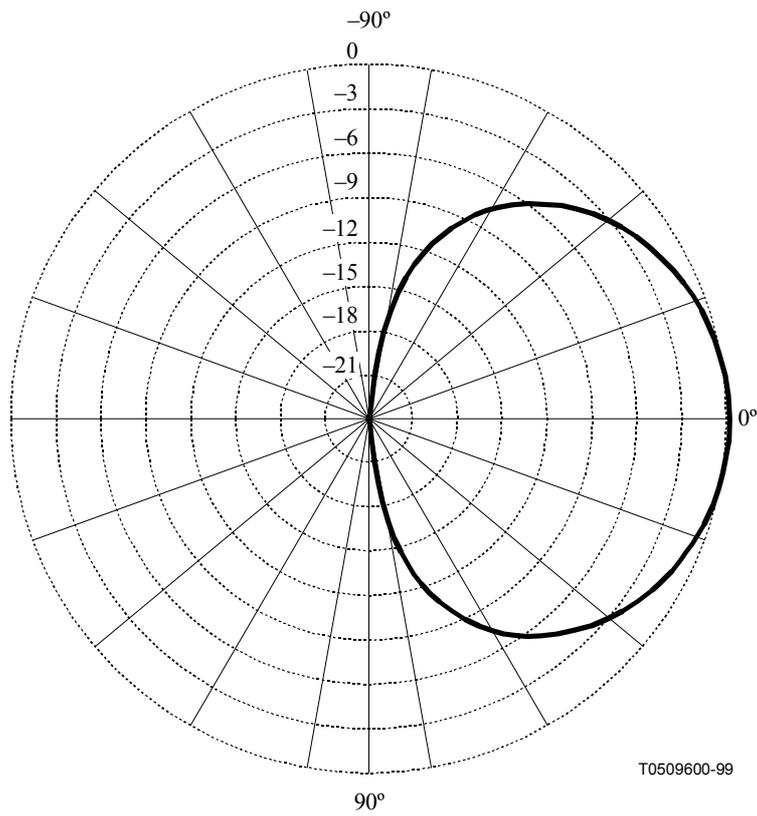


Figura B.6/K.52 – Diagrama vertical para un dipolo de media onda

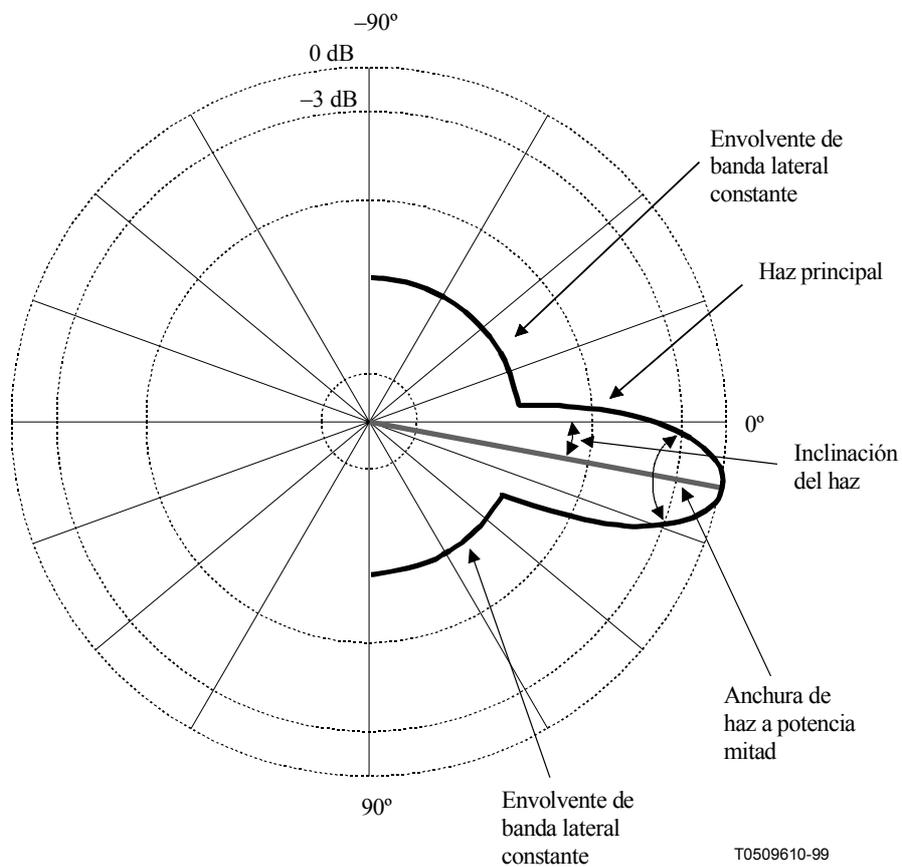


Figura B.7/K.52 – Ilustración de los términos relativos a los diagramas de antena

B.2.4 La zona de exclusión

Esta subcláusula describe las zonas de exclusión para la categoría de accesibilidad 4. La zona de exclusión depende del diagrama horizontal de la antena. El parámetro pertinente es la cobertura horizontal de la antena. El cuadro B.3 presenta las zonas de exclusión para algunos valores típicos de la cobertura horizontal para antenas omnidireccionales, seccionales o de haz estrecho.

Cuadro B.3/K.52 – Zona de exclusión en función de la cobertura horizontal

Cobertura horizontal	Zona de exclusión
Omnidireccional	Zona circular (figura B.4)
120°	Zona rectangular (figura B.5) $b = 0,866a$
90°	Zona rectangular (figura B.5) $b = 0,707a$
60°	Zona rectangular (figura B.5) $b = 0,5a$
30°	Zona rectangular (figura B.5) $b = 0,259a$
Menos de 5°	Zona rectangular (figura B.5) $b = 0,09a$

APÉNDICE I

Límites de la ICNIRP

Este apéndice presenta una sinopsis de los límites de las directrices para limitar la exposición a los campos eléctrico, magnético y electromagnético variables (hasta 300 GHz) [1] publicadas por la Comisión Internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (ICNIRP, *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*). Este apéndice presenta los límites básicos (SAR y densidad de corriente) y los niveles de referencia de los campos.

I.1 Límites básicos

El cuadro I.1 muestra los límites básicos.

Cuadro I.1/K.52 – Límites básicos de la ICNIRP

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Densidad de corriente en la cabeza y el tronco (mA/m ²) (valor eficaz)	SAR media en todo el cuerpo (W/kg)	SAR localizada (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR localizada (extremidades) (W/kg)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	40			
	1-4 Hz	40/ <i>f</i>			
	4 Hz-1 kHz	10			
	1-100 kHz	<i>f</i> /100			
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /100	0,4	10	20
	10 MHz-10 GHz		0,4	10	20
Público en general	Hasta 1 Hz	8			
	1-4 Hz	8/ <i>f</i>			
	4 Hz-1 kHz	2			
	1-100 kHz	<i>f</i> /500			
	100 kHz-10 MHz	<i>f</i> /500	0,08	2	4
	10 MHz-10 GHz		0,08	2	4

NOTA 1 – *f* es la frecuencia en hertzios.

NOTA 2 – Debido a la inhomogeneidad eléctrica del cuerpo, las densidades de corriente deben promediarse en una sección de corte de 1 cm² perpendicular a la dirección de la corriente.

NOTA 3 – Todos los valores de SAR han de promediarse en cualquier periodo de 6 minutos.

NOTA 4 – La masa de promediación de la SAR localizada es cualesquiera 10 g de tejido contiguo; la máxima SAR así obtenida debe ser el valor utilizado para estimación de la exposición.

I.2 Niveles de referencia

El cuadro I.2 muestra los límites de referencia.

**Cuadro I.2/K.52 – Límites de referencia ICNIRP
(valores eficaces sin perturbaciones)**

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	–	2×10^5	–
	1-8 Hz	20 000	$2 \times 10^5/f^2$	–
	8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	–
	0,025-0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	–
	0,82-65 kHz	610	24,4	–
	0,065-1 MHz	610	$1,6/f$	–
	1-10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	–
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0,36	50
Público en general	Hasta 1 Hz	–	2×10^4	–
	1-8 Hz	10 000	$2 \times 10^4/f^2$	–
	8-25 Hz	10 000	$5000/f$	–
	0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	–
	0,8-3 kHz	$250/f$	5	–
	3-150 kHz	87	5	–
	0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	–
	1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	–
	10-400 MHz	28	0,073	2
	400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	10	

NOTA 1 – f es la indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2 – Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA 3 – Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Para impulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f = 1/(2t_p)$.

NOTA 4 – Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite S_{eq} , o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5 – Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de $68/f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

En las figuras I.1 y I.2 se muestran los campos de referencia.

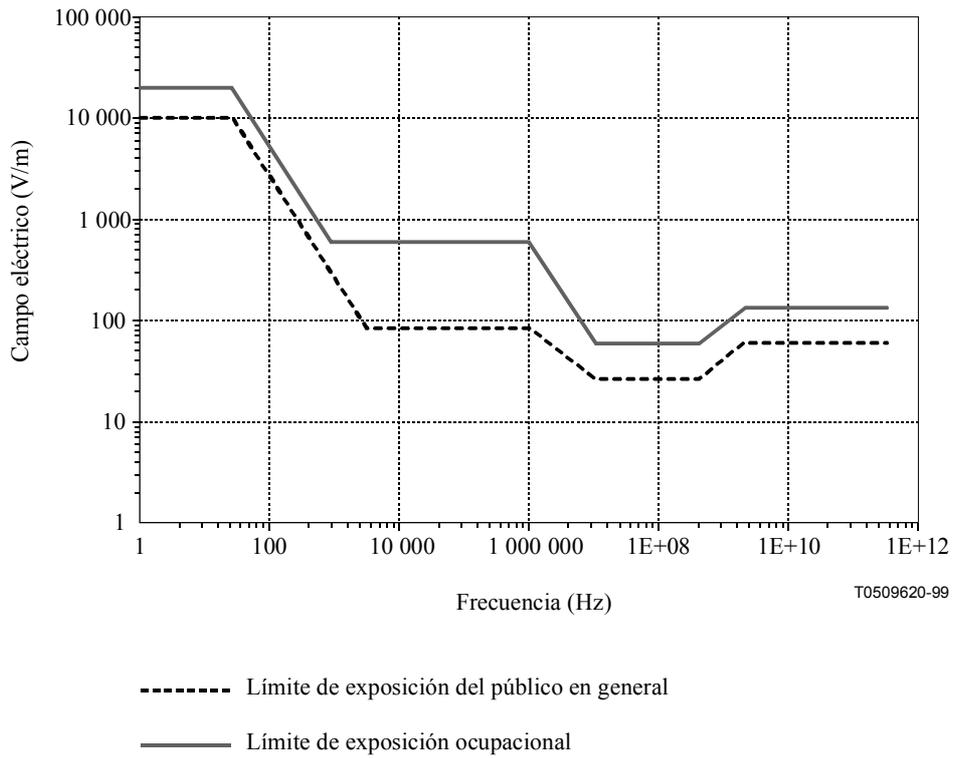


Figura I.1/K.52 – Límites de referencia ICNIRP de intensidad del campo eléctrico

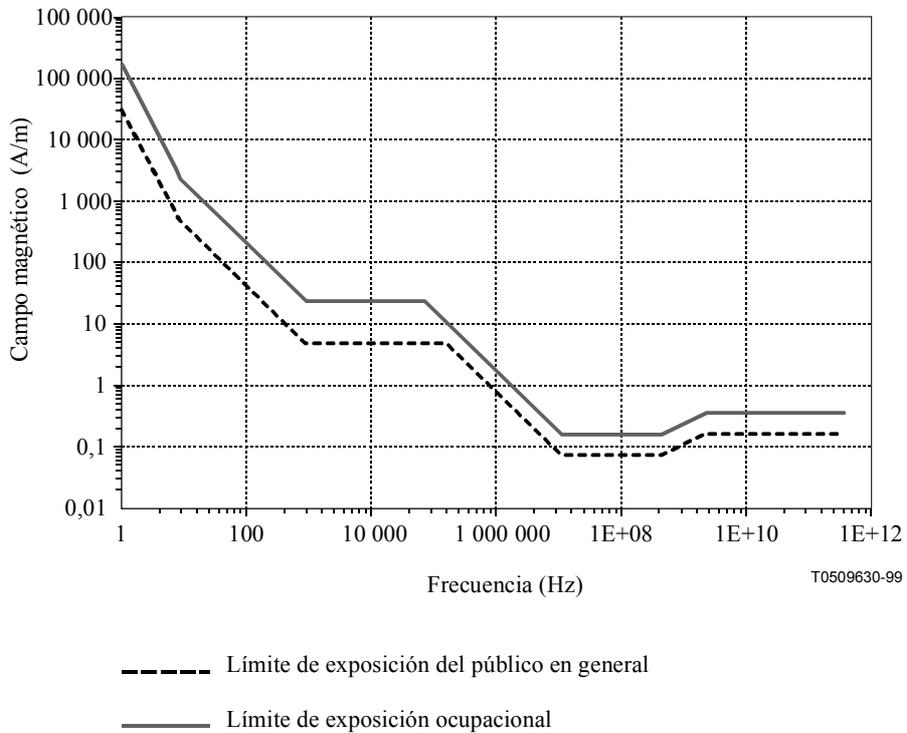


Figura I.2/K.52 – Límites de referencia ICNIRP de intensidad del campo magnético

I.3 Exposición simultánea a múltiples fuentes

Para la exposición simultánea a fuentes a diferentes frecuencias, el cumplimiento de los límites de exposición se evalúa utilizando las ecuaciones que siguen:

$$\sum_{i=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1 \text{ MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1$$

$$\sum_{j=1 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{H_{l,j}} + \sum_{j>1 \text{ MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1$$

donde:

- E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i
- $E_{l,i}$ es el límite de referencia a la frecuencia i
- H_j es la intensidad de campo magnético a la frecuencia j
- $H_{l,j}$ es el límite de referencia a la frecuencia j
- $a = 610 \text{ V/m}$ para exposición ocupacional y 87 V/m para exposición del público en general
- $b = 24,4 \text{ A/m}$ para exposición ocupacional y 5 A/m para exposición del público en general

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}} \right)^2 \leq 1$$

donde:

- E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i
- $E_{l,i}$ es el límite de referencia a la frecuencia i
- H_j es la intensidad de campo magnético a la frecuencia j
- $H_{l,j}$ es el límite de referencia a la frecuencia j
- $c = 610/f \text{ V/m}$ (f en MHz) para exposición ocupacional y $87/f^{1/2} \text{ V/m}$ para exposición del público en general
- $d = 1,6/f \text{ A/m}$ (f en MHz) para exposición ocupacional y $0,73/f$ para exposición del público en general

APÉNDICE II

Ejemplo de evaluación simple de la exposición al EMF

Este apéndice presenta un ejemplo de utilización de un método de predicción simple para evaluar la exposición al EMF.

II.1 Exposición a nivel del suelo

La geometría para calcular la exposición al nivel del suelo debida a una antena elevada se muestra en la figura II.1.

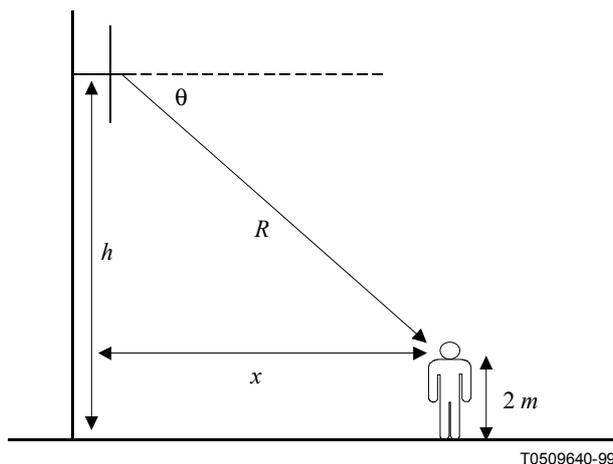


Figura II.1/K.52 – Ejemplo de configuración para calcular la exposición a nivel del suelo

Se instala una antena de manera que el centro de radiación se halle a una altura h sobre el suelo. El objetivo del cálculo es evaluar la densidad de potencia en un punto a 2 m por encima del suelo (aproximadamente al nivel de la cabeza), a una distancia x de la torre. En este ejemplo el haz principal es paralelo al suelo y la ganancia de antena es axialmente simétrica (omnidireccional).

Para simplificar lo anterior, se define $h' = h - 2$ [m]. Recurriendo a la trigonometría,

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

Teniendo en cuenta las reflexiones en el suelo, la densidad de potencia resulta:

$$S = \frac{2,56}{4\pi} F(\theta) \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

NOTA – El factor de 2,56 podría ser sustituido por 4 (es decir, considerando un factor de reflexión de 1) si se necesita un método más riguroso.

Por ejemplo, si la antena es un dipolo de media onda, la ganancia numérica relativa es de la forma:

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

Entonces, para una fuente con una *EIRP* de 1000 W, la potencia de exposición en función de *x* se muestra en la figura II.2 para tres alturas diferentes.

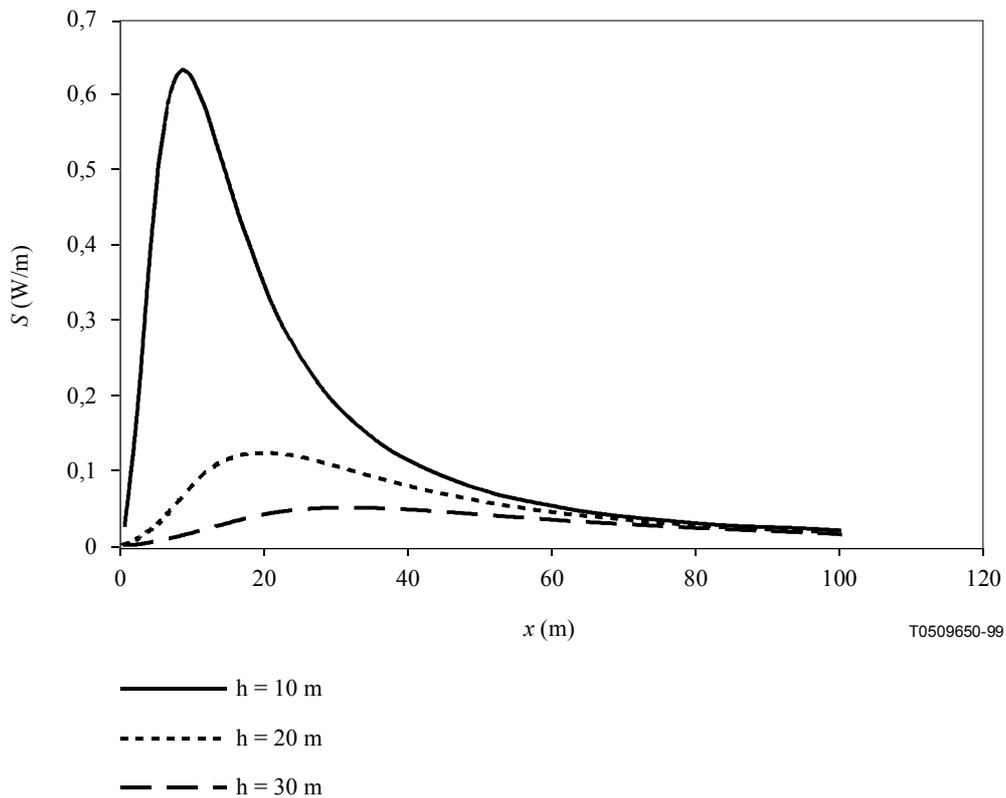


Figura II.2/K.52 – Densidad de potencia a nivel del suelo en función de la distancia a la torre calculada para el ejemplo II.1

II.2 Exposición en un edificio adyacente

La geometría para calcular la exposición en un edificio adyacente a una torre de antena se muestra en la figura II.3.

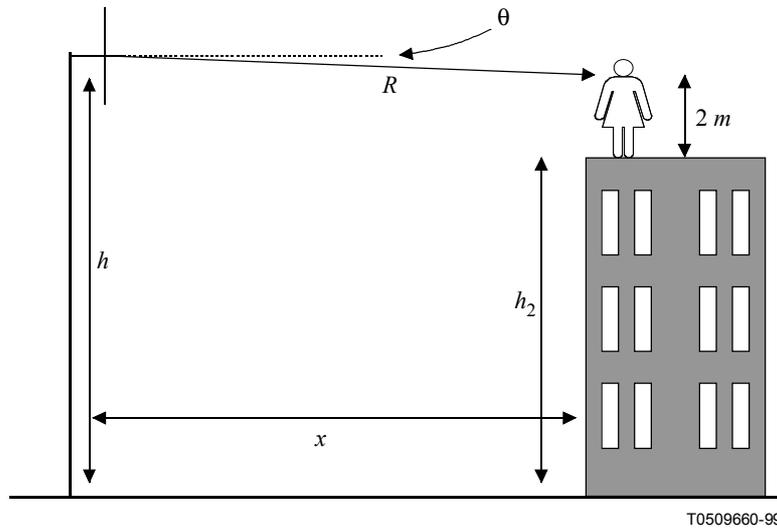


Figura II.3/K.52 – Ejemplo de configuración para calcular la exposición en un edificio adyacente

Se instala una antena de manera que el centro de radiación se halle a una altura h sobre el suelo. El objetivo del cálculo es evaluar la densidad de potencia en un punto a 2 m sobre el tejado (aproximadamente al nivel de la cabeza) de un edificio adyacente. El edificio tiene una altura h_2 y está situado a una distancia x de la torre. La exposición más grave se prevé en el borde del tejado más próximo a la antena. Se supone que el haz principal es paralelo al suelo y que la ganancia de antena es axialmente simétrica (omnidireccional).

De nuevo, para simplificar lo anterior, se define $h' = h - h_2 - 2$. Recurriendo a la trigonometría,

$$R^2 = h'^2 + x^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

En esta situación, pueden despreciarse las radiaciones en el suelo, ya que la onda reflejada probablemente sea atenuada por el edificio, por lo que la densidad de potencia resulta:

$$S = \frac{F(\theta)}{4\pi} \frac{EIRP}{x^2 + h'^2}$$

Por ejemplo, si la antena es un dipolo de media onda, la ganancia numérica relativa es de la forma:

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2$$

Entonces, para una fuente con una $EIRP$ de 1000 W , la potencia de exposición en función de x se muestra en la figura II.4 para tres alturas relativas diferentes $Dh = (h - h_2)$.

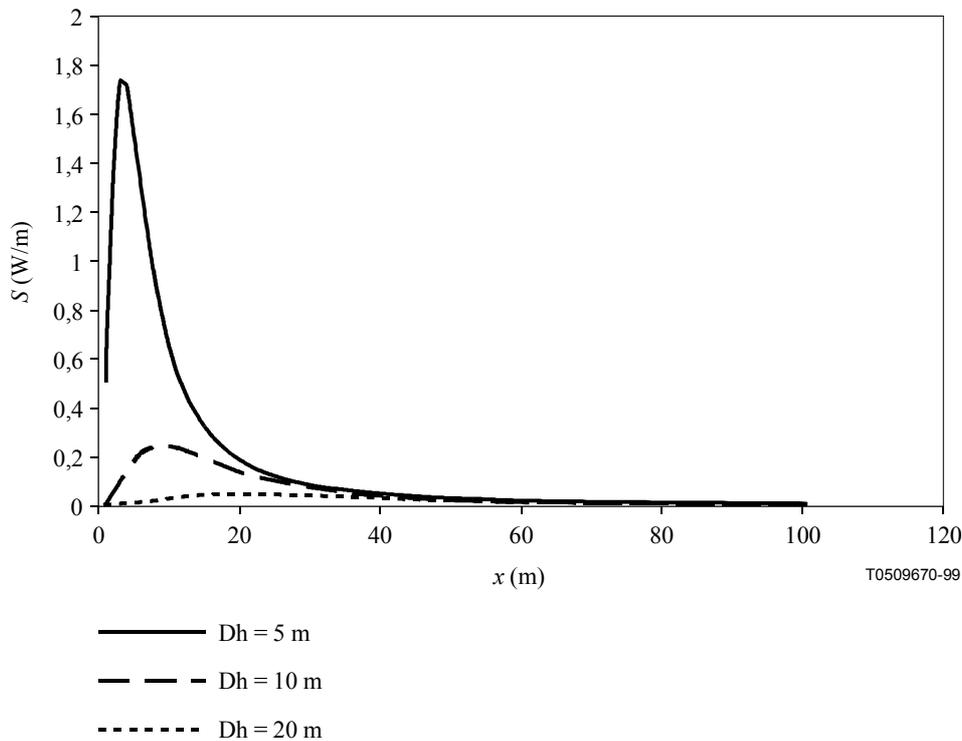


Figura II.4/K.52 – Densidad de potencia a nivel del suelo en función de la distancia a la torre calculada para el ejemplo II.2

APÉNDICE III

Ejemplo de cálculo de $EIRP_{th}$

III.1 Los valores de $EIRP_{th}$

Los cuadros III.1 a III.3 muestran las expresiones para valores de $EIRP_{th}$ basados en los límites de la ICNIRP para diversas gamas de frecuencias, condiciones de accesibilidad y categorías de directividad de la antena.

Es necesario señalar que la densidad de potencia radiada se puede utilizar únicamente en condiciones de campo lejano, cuando es representativa de los campos eléctrico y magnético. Esto representa el límite de validez del procedimiento de evaluación propuesto para instalaciones normalmente conformes. Cuando el procedimiento no es aplicable (por ejemplo, frecuencias bajas o exposición en condiciones de campo cercano), la instalación se considerará provisionalmente conforme.

Las directrices de la ICNIRP definen tres gamas de frecuencias a las que corresponden valores límite diferentes de potencia radiada. Para frecuencias por encima de 100 MHz los límites son:

$f(\text{MHz})$	$S_{lim}(f) (\text{W/m}^2)$	
	Público en general	Ocupacional
100-400	2	10
400-2000	$f/200$	$f/40$
$2 \cdot 10^3$ - $300 \cdot 10^3$	10	50

Los valores de $EIRP_{th}$ se indican en función de la altura de la antena y de otros parámetros pertinentes (accesibilidad, directividad y frecuencia) definidos en el anexo B.

El apéndice IV proporciona el análisis razonado de los valores de $EIRP_{th}$.

NOTA – En los cuadros siguientes, a, d, h y h' se indican en metros.

Cuadro III.1/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 100-400 MHz

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	$EIRP_{th}$ (W)	
		Público en general	Ocupacional
1	1	$8\pi(h-2)^2$	$40\pi(h-2)^2$
	2	Menos de: $8\pi(h-2)^2$ o $2\pi d^2$	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi d^2$
	3	Menos de: $8\pi(h-2)^2$ o $2\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $8\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $2\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	Menos de: $40\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $10\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $2\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (determinada por: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $2\pi d^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $10\pi d^2$

Cuadro III.1/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 100-400 MHz (*fin*)

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP_{th}</i> (W)	
		Público en general	Ocupacional
2	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $2\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $2\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{\pi}{2A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{2,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{2\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $2\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Cuadro III.2/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP_{th}</i> (W)	
		Público en general	Ocupacional
1	1	$\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$	$\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$
	2	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}d^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}d^2$
	3	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{d^2+(h-h')^2}{d}\right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{50}(h-2)^2$ {Si $a < (h-2)$ } o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{10}(h-2)^2$ {Si $a < (h-2)$ } o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{a^2+(h-2)^2}{a}\right]^2$
2	1	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}\left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha+1,129\theta_{bw})}\right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}\left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha+1,129\theta_{bw})}\right]^2$
	2 (determinada por: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200}d^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40}d^2$

Cuadro III.2/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 400-2000 MHz (*fin*)

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP_{th}</i> (W)	
		Público en general	Ocupacional
2	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{50A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}}(h-2)^2$ o $\frac{f\pi}{10A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{f\pi}{200A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{200} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{f\pi}{40A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $\frac{f\pi}{40} \left[\frac{h-2}{\sin(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$

Cuadro III.3/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-300 000 MHz

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP_{th}</i> (W)	
		Público en general	Ocupacional
1	1	$40\pi(h-2)^2$	$200\pi(h-2)^2$
	2	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi d^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ o $50\pi d^2$
	3	Menos de: $40\pi(h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $40\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $10\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$	Menos de: $200\pi(h-2)^2 \{ \text{Si } a < (h-2) \}$ o $50\pi \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$
2	1	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2 (determinada por: $h' > h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $10\pi d^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $50\pi d^2$
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$

Cuadro III.3/K.52 – Condiciones de conformidad normal de las instalaciones basadas en los límites ICNIRP para la gama de frecuencias 2000-300 000 MHz (*f*_{in})

Categoría de directividad	Categoría de accesibilidad	<i>EIRP</i> _{th} (W)	
		Público en general	Ocupacional
2	4	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
3	1	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
	2	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)	N/A (Suele necesitarse visibilidad directa)
	3 (determinada por: $h' < h - d \tan(\alpha + 1,129\theta_{bw})$)	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $\frac{2,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} (h-2)^2$ o $\frac{12,5\pi}{A_{sl}} \left[\frac{d^2 + (h-h')^2}{d} \right]^2$
	4	Menos de: $\frac{10\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $10\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$	Menos de: $\frac{50\pi}{A_{sl}} \left[\frac{a^2 + (h-2)^2}{a} \right]^2$ o $50\pi \left[\frac{h-2}{\text{sen}(\alpha + 1,129\theta_{bw})} \right]^2$
NOTA 1 – <i>f</i> es en MHz. NOTA 2 – Todos los ángulos deben expresarse en radianes. NOTA 3 – <i>A</i> _{sl} debe expresarse como valor numérico. Sin embargo, suele darse en dB con respecto al máximo. Para la conversión: $A_{sl} = 10^{A_{sl} [\text{dB}]/10}$.			

APÉNDICE IV

Análisis razonado de los valores de $EIRP_{th}$ de los cuadros del apéndice III

Este apéndice presenta el análisis razonado de los valores de $EIRP_{th}$ del apéndice III. El análisis se basa en cálculos que utilizan expresiones de campo lejano en todos los casos. Por tanto, la gama de frecuencias a la que se aplica este análisis se limita a las superiores a 100 MHz.

IV.1 Fuentes inherentemente conformes

El criterio para la fuente inherentemente conforme es una $EIRP$ de 2 W o menos, salvo para antenas de microondas de apertura pequeña y baja ganancia o antenas de ondas milimétricas cuando la potencia de radiación total de 100 mW o menos puede ser considerada como inherentemente conforme. Esta $EIRP$ corresponde a una densidad de potencia de $0,16 \text{ E/m}^2$ a una distancia de 1 m, mientras que el límite de densidad de potencia ICNIRP más baja para el público en general es 2 W/m^2 .

IV.2 Normalmente conforme

Los criterios para las instalaciones normalmente conformes se obtienen considerando la exposición al nivel del suelo y en edificios o estructuras adyacentes. En 8.1.2 se ha presentado un procedimiento básico para efectuar el cálculo. Los dos factores determinantes son el diagrama de antena y las condiciones de accesibilidad. Para la deducción de los criterios de clasificación, se formulan las siguientes hipótesis conservadoras adicionales:

- Para exposición al nivel del suelo, se supone un coeficiente de reflexión igual a 1.
- Toda la exposición se supone que se produce a lo largo del máximo del diagrama de antena en el plano horizontal.

En las subcláusulas que siguen se presentan el modo de deducción para las diferentes categorías de directividad de antena.

IV.2.1 Categoría de directividad 1

La función ganancia de antena se aproxima mediante la ganancia numérica relativa de un dipolo infinitesimal.

$$F(\theta, \phi) = \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \text{sen } \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \approx \cos^2 \theta$$

El dipolo infinitesimal tiene la función ganancia vertical más ancha para una fuente omnidireccional. Por tanto, ésta representa la condición de exposición más grave al nivel del suelo con el eje del haz principal paralelo al suelo o más alto.

Empleando esta ganancia, la potencia de exposición puede obtenerse analíticamente en función de x , como:

$$S(x) = \frac{EIRP}{4\pi} \left(\frac{x}{x^2 + h_d^2} + \frac{x}{x^2 + h_s^2} \right)^2$$

donde h_d es la diferencia entre la altura del centro de fase de la antena, h , y la altura del punto de observación, y h_s es la suma de las magnitudes. La altura del punto de observación es 2 m para exposición al nivel del suelo, y h' para exposición en estructuras adyacentes. El cálculo de la

exposición máxima es complicado, pero puede obtenerse una estimación conservadora haciendo $h_s = h_d$. Esta aproximación sería razonablemente exacta cerca de la superficie, pero produce una sobrestimación apreciable en puntos apreciablemente por encima de la superficie. Con esta aproximación, la exposición máxima se produce a $x = h_d$, y es igual a:

$$S_{\text{máx}}(h) = \frac{1}{4\pi} \frac{EIRP}{h_d^2}$$

Para valores límite dados, de la densidad de potencia de onda plana equivalente, S_{lim} , y una altura de antena dada, es posible calcular el máximo valor de EIRP que debe permitir conformidad como:

$$EIRP_{th} = 4\pi h_d^2 S_{\text{lim}}$$

IV.2.2 Categoría de directividad 2

En este caso, el supuesto diagrama de antena consta de dos componentes, el haz principal y la envolvente de lóbulos laterales de amplitud constante. El diagrama de antena puede expresarse como:

$$F(\theta) = \begin{cases} \left[\frac{\text{sen}[c \text{sen}(\theta - \alpha)]}{c \text{sen}(\theta - \alpha)} \right]^2 & \text{haz principal} \\ A_{sl} & \text{envolvente de lóbulos laterales} \end{cases}$$

El parámetro c determina la anchura de haz a potencia mitad como sigue:

$$c = \frac{1,392}{\text{sen}(\theta_{bw} / 2)}$$

El cruce desde el haz principal hasta la región de lóbulos laterales es difícil de evaluar analíticamente, pero puede aproximarse como el primer nulo de la función de haz principal. Los primeros nulos aparecen a:

$$\theta_{n1, n2} = \alpha \pm \text{sen}^{-1} \left[\frac{\pi}{1,392} \text{sen} \left(\frac{\theta_{bw}}{2} \right) \right] \approx \alpha \pm 2,257 \frac{\theta_{bw}}{2}$$

Fuera del haz principal, la exposición se calcula utilizando la envolvente constante, por lo que la exposición máxima se produce directamente por debajo de la antena. En muchos casos, esta es una hipótesis conservadora ya que el diagrama de antena puede tener un nulo en este punto. Sin embargo, sin información de diagrama adicional, se aplica la hipótesis más conservadora. En algunos casos, la envolvente de constante puede ser modulada por un factor de dipolo ($\cos \theta$), por ejemplo, cuando se produce una exposición de lóbulo lateral lejos de la base de la antena.

Además, para simplificar los cálculos, se supone una potencia constante en el haz principal ($F(\theta) = 1$). La condición para que un punto (x,y) esté dentro del haz resulta:

$$h - x \text{tg} \theta_{n1} \leq y \leq h - x \text{tg} \theta_{n2}$$

IV.2.3 Categoría de directividad 3

La diferencia principal entre el cálculo de la exposición para la categoría de directividad 3 en comparación con la categoría de directividad 2 consiste en el tratamiento de la onda reflejada. Se utilizan antenas de la categoría de directividad 3 para enlaces punto a punto, por lo que no es necesario considerar ondas reflejadas para la exposición en el haz principal.

APÉNDICE V

Bibliografía

- [1] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz)*.
- [2] FCC, 96-326, *Guidelines for Evaluating the Environmental Effects of Radiofrequency Radiation*.
- [3] ANSI/IEEE C95.1, *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*.
- [4] CENELEC, ENV 50166-1, *Human Exposure to Electromagnetic Fields – Low Frequency (0 Hz to 10 kHz)*.
- [5] CENELEC, ENV 50166-2, *Human Exposure to Electromagnetic Fields – High Frequency (10 kHz to 300 GHz)*.
- [6] ANSI/IEEE C95.3, *Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave*.
- [7] IEEE 291, *Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strengths of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*.
- [8] IEEE C63.2, *Standard Electromagnetic Noise and Field Strengths Instrumentation, 10 Hz to 40 GHz – Specifications*.
- [9] OET Bulletin 65, *Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields*.
- [10] IEEE 644, *Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from a.c. power lines*.

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	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
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 y aspectos protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación