



**Presidencia de la República**  
**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10071

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

Asunción, 2 de marzo de 2007

**VISTO:** La presentación del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, por medio de la cual solicita la aprobación de la Norma Nacional para el control de fuentes emisoras de Radiaciones No Ionizantes, elaborada por una Comisión Interinstitucional; y

**CONSIDERANDO:** Que la Constitución Nacional garantiza la calidad de vida, la preservación del ambiente y la salud de las personas; así como la regulación de las actividades susceptibles de producir alteración a éstas.

Que existen tecnologías incorporadas al ambiente, que se constituyen en fuentes de irradiación de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, y requieren ser objeto de control por el Estado para mantenerlas dentro de los límites aceptables para la salud de las personas.

Que la Ley 836/80 "Código Sanitario", en su Artículo 10 establece que: "El cuidado de la salud de las personas comprende: b) En relación al medio, el control de los factores condicionantes de la Salud de las Personas".

Que es necesario que el Estado, a través de las autoridades establecidas garantice en la práctica la aplicación de mecanismos legales para que los habitantes del país estén protegidos en sus derechos y garantías fundamentales ante las mencionadas fuentes de irradiación, tomando en cuenta las recomendaciones de la UIP.

N° 1068



**Presidencia de la República**  
**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10041

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

- 2 -

Que la Ley N° 1561/00, crea la Secretaría del Ambiente, como autoridad de derecho público a la que se reserva la formulación, coordinación, ejecución y fiscalización de la política ambiental nacional, con competencia en la aplicación de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental y con autoridad en los asuntos que conciernen a su ámbito de competencia en coordinación con las demás autoridades.

N° \_\_\_\_\_

**POR TANTO;** en ejercicio de sus atribuciones constitucionales,

**EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY**  
**D E C R E T A:**

**Art. 1°.-** Apruébase la Norma Nacional que fija los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la exposición de las personas a las Radiaciones no Ionizantes (RNI) producidas por actividades que generen campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en la gama de frecuencias de 0 Hz a 300 GHz, cuya observancia proporcionará elevado nivel de protección contra los efectos nocivos para la salud, que puedan resultar de la exposición de las personas a dichos campos.

**Art. 2°.** **Términos y Definiciones**

A los efectos de la aplicación e interpretación de esta Norma, se entenderán las definiciones contenidas en el Anexo 1, que forma parte de este Decreto.

Ministro de Salud Pública y Bienestar Social  
*[Signature]*  
2007.07.11



**Presidencia de la República**  
**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10071

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

- 3 -

**Art. 3°.-** **Ámbito de Aplicación**

Las disposiciones contenidas en este Decreto son de carácter obligatorio en la República del Paraguay, para las entidades del Estado, las personas físicas y jurídicas, nacionales o extranjeras, que realicen actividades que generen campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en la gama de frecuencias de 0 Hz a 300 GHz y que pueden interactuar directamente con el cuerpo humano a través de mecanismos de acoplamiento o absorción de energía.

Sin embargo, tal observancia no impedirá necesariamente problemas de interferencia u otros efectos sobre el funcionamiento de productos sanitarios tales como prótesis metálicas, marcapasos y desfibriladores cardíacos e injertos cocleares y otros injertos, para cuyos casos deberán tenerse en cuenta las precauciones que correspondan a cada caso concreto y que están fuera del ámbito de esta normativa.

**Art. 4°.** **Aprobación de los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en la gama de frecuencia de 0 Hz a 300 GHz.**

Apruébase como Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes, los valores establecidos como niveles de referencia, por la Comisión Internacional para la protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), tal como se muestran en el ANEXO 2.

Estos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas especificadas en el ANEXO 3.

Administración  
2010



**Presidencia de la República**  
**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10071

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

- 4 -

Para la aplicación de las restricciones basadas en la evaluación de los posibles efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud, se diferenciarán las restricciones básicas de los niveles de referencia, conforme a lo establecido en los ANEXOS 2 y 3.

En situaciones en las que se dan exposiciones simultáneas a campos de diferentes frecuencias entre 0Hz y 300 GHz, se tendrán en cuenta los criterios y procedimientos recomendados por la ICNIRP, para la consideración de los efectos de las múltiples fuentes que se describen en el ANEXO 4.

N° \_\_\_\_\_

**Art. 5°. Obligaciones para los titulares de concesiones, licencias o autorizaciones.**

Los titulares de concesiones, licencias o autorizaciones adoptarán las medidas necesarias, entre las que deberán incluir la realización de monitoreos de sus instalaciones de acuerdo con el Plan de Monitoreo contemplado en la Licencia Ambiental otorgada por la Secretaría del Ambiente (SEAM), a efectos de garantizar que las radiaciones electromagnéticas que emitan sus estaciones o instalaciones no excedan los LMP establecidos en la presente Norma.

Las instalaciones existentes deberán adecuarse a los niveles establecidos en la presente Norma, en un plazo no mayor a 360 días contados a partir de su fecha de entrada en vigor.

*[Faint signature and text]*  
20...



**Presidencia de la República**

**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10041

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

- 5 -

**Art. 6°.- Lineamientos de los métodos y procedimientos técnicos oficiales**

Los lineamientos de los métodos y procedimientos técnicos oficiales, para la evaluación del cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles aprobados, son los señalados en el ANEXO 5 de esta Norma.

**Art. 7°.- Señalización de advertencia**

Las instalaciones utilizadas para actividades que generen campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos en la gama de frecuencias de 0 Hz a 300 GHz deberán instalar señales de advertencia a la vista de todas las personas que realicen actividades en el perímetro protegido, conforme al ANEXO 6 de esta Norma.

**Art. 8°.- Certificación de equipos de medición**

Los equipos a utilizarse para las mediciones de los campos electromagnéticos deberán contar con la certificación actualizada de calibración, nacional o internacional, aprobada por el Órgano Competente.

**Art. 9°.- Autoridad de aplicación**

La Autoridad de aplicación de la presente Norma es la Secretaría del Ambiente (SEAM), la que fiscalizará directamente el cumplimiento de lo establecido en el presente Decreto, o a través de organismos autorizados por la misma.

N° \_\_\_\_\_



**Presidencia de la República**  
**Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social**

Decreto N° 10071

**POR EL CUAL SE APRUEBA LA NORMA QUE FIJA LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI).**

- 6 -

Las personas afectadas por la exposición a las Radiaciones no Ionizantes (RNI) también podrán recurrir al Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, Municipios, Gobernaciones, CONATEL, o a la Dirección de Defensa del Consumidor y del Usuario, dependiente del Ministerio de Industria y Comercio (MIC), a reclamar la atención de sus derechos quebrantados; entidades éstas, que por los principios de celeridad, simplicidad, responsabilidad, gratuidad, eliminación de exigencias costosas, de subsanación y de equidad, están obligadas a remitir inmediatamente a la SEAM todas las reclamaciones.

**Art. 10°.- Infracciones y Sanciones**

Las infracciones derivadas del incumplimiento de la presente Norma serán sancionadas, de acuerdo con lo previsto en las legislaciones vigentes, a través de la SEAM.

Dichas sanciones serán aplicadas independientemente de la responsabilidad civil o penal que pudiera derivarse de la infracción cometida.

**Art. 11°.-** El presente Decreto será refrendado por el Ministro de Salud Pública y Bienestar Social.

**Art. 12°.-** Comuníquese, publíquese y dese al Registro Oficial.



## ANEXO 1

### TÉRMINOS Y DEFINICIONES

A los fines de esta Norma, el término Campo Electromagnético (CEM) comprende los campos estáticos, los campos de frecuencia extraordinariamente baja (FEB) y los campos de radiofrecuencia (RF), abarcando la gama de frecuencias de 0 Hz a 300 GHz.

#### **CORRIENTE DE CONTACTO (I)<sup>1</sup>**

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

#### **DENSIDAD DE CORRIENTE (J)<sup>2</sup>**

Se define como la corriente que fluye por una unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente, en un conductor volumétrico como puede ser el cuerpo humano o parte de éste, expresada en amperios por metro cuadrado (A/m<sup>2</sup>).

#### **CAMPO ELECTRICICO**

La región del espacio que rodea una carga eléctrica aislada o a un conjunto de cargas eléctricas, en la cual se observa la aparición de fuerzas eléctricas en presencia de una carga de prueba ubicada en algún punto de la misma.

#### **CAMPO MAGNETICO**

Región de espacio que rodea una carga en movimiento (i.e. en un conductor) siendo definida en cualquier punto por la fuerza a la que estaría expuesta otra hipotética carga en movimiento. Un campo magnético ejerce fuerza sobre partículas cargadas sólo si están en movimiento, y las partículas cargadas producen campos magnéticos sólo cuando están en movimiento.

#### **CAMPO ELECTROMAGNÉTICO**

1. Es el campo asociado a las fuerzas eléctrica y magnética, unificadas en las ecuaciones de Maxwell. La luz y otras ondas electromagnéticas son perturbaciones de este campo.
2. Se denomina **Campo electromagnético** al conjunto de los campos oscilatorios eléctrico y magnético que se crean en el espacio al hacer circular por un conductor o una antena, una corriente eléctrica oscilante.

La frecuencia de estos campos eléctrico y magnético es la misma de la corriente oscilante que circula a través del conductor o la antena.

Según la teoría de Maxwell el campo electromagnético no se produce en el mismo instante en todos los puntos del espacio, sino que se propaga, a partir de la antena a una velocidad aproximada a los 300.000 km por segundo, dependiendo del medio.

Cuando en una región del espacio existe una energía electromagnética, se dice que en esa región hay un campo electromagnético, que se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) y/o la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) en esa posición. Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad "voltio/metro" mientras que para medir la densidad del flujo magnético se utiliza la unidad "tesla" (T) y a veces el Gauss (G). Un Tesla equivale a 10 000 Gauss.

#### **INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (E)**

La fuerza eléctrica que en un punto cualquiera del campo se ejerce sobre la carga unidad positiva, tomada como elemento de comparación, recibe el nombre de Intensidad del Campo eléctrico y se representa por la letra (E). Por tratarse de una fuerza, la intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial que viene definida por su módulo E y por su dirección y sentido. Su unidad es el Volt/metro (V/m).

#### **INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (H)**

Campo vectorial igual a la densidad de flujo electromagnético dividida entre la permeabilidad del medio. Se expresa en unidades de amperios sobre metro (A/m).

#### **LONGITUD DE ONDA (λ)**

Se define la longitud de onda (λ) como la distancia que recorre el pulso mientras una partícula del medio que recorre la onda realiza una oscilación completa. El tiempo que tarda en realizar la oscilación se llama período (T) y la frecuencia (f) es el número de oscilaciones (vibraciones completas) que efectúa cualquier partícula, del medio perturbado por donde se propaga la onda, en un segundo.

<sup>1</sup> K-52 ITU

<sup>2</sup> CEE

La longitud de onda ( $\lambda$ ) de una onda electromagnética está relacionada con la frecuencia ( $f$ ) y velocidad ( $v$ ) por la expresión  $\lambda = v/f$ . En el espacio libre, la velocidad de una onda electromagnética es igual a la velocidad de la luz, que es aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s.

#### FRECUENCIA

Número de ciclos sinusoidales completados por las ondas electromagnéticas en un segundo, expresado en Hertz (Hz).

#### IMPEDANCIA

La relación del número complejo (vector) que representa el campo eléctrico transversal en un punto a otro que representa el campo magnético transversal en ese punto, expresado en ohmios ( $\Omega$ ).

#### 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.

#### ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SA, *specific absorption*)<sup>3</sup>

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 ( $\rho_m$ ).

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

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

#### TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA (SAR, *specific absorption rate*)<sup>4</sup>

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 ( $\rho_m$ ).

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

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

SAR puede calcularse por:

<sup>3</sup> UIT

<sup>4</sup> UIT



$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho_m}$$

$$SAR = c \frac{dT}{dt}$$

$$SAR = \frac{J^2}{\rho_m \sigma}$$

donde:

$E$  es el valor de la intensidad de campo eléctrico en el tejido corporal en V/m  
 $\sigma$  es la conductividad del tejido corporal en S/m  
 $\rho_m$  es la densidad del tejido corporal en kg/m<sup>3</sup>  
 $c$  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/m<sup>2</sup>

El SAR, cuyo promedio se calcula en la totalidad del cuerpo o en partes de éste, se define en que la energía es absorbida por unidad de masa de tejido corporal y se expresa en vatios por kilogramo (W/kg). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a la RF. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR LOCALES son necesarios para evaluar y limitar una deposición excesiva de energía en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de condiciones especiales de exposición.

#### LA DENSIDAD DE FLUJO MAGNÉTICO O INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Es una cantidad vectorial ( $B$ ) que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en teslas (T). En espacio libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia  $1 \text{ T} = 4\pi 10^{-7} \text{ A m}^{-1}$ .

La unidad de esta magnitud se denomina tesla (T), y es la inducción magnética uniforme que repartida normalmente sobre una superficie de 1 metro cuadrado produce a través de esta superficie un flujo magnético total de 1 weber.

**Restricciones básicas.** Las restricciones de la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que están basadas directamente en los efectos conocidos sobre la salud y en consideraciones biológicas, reciben el nombre de "restricciones básicas". Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas empleadas para especificar estas restricciones son la inducción magnética (B), la densidad de corriente (J), el índice de absorción específica de energía (SAR) y la densidad de potencia (S). La inducción magnética y la densidad de potencia se pueden medir con facilidad en los individuos expuestos. Los valores establecidos como restricciones básicas por la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes – ICNIRP son presentados en el ANEXO 2.

**Niveles de referencia.** Estos niveles se ofrecen a efectos prácticos de evaluación de la exposición para determinar la probabilidad de que se sobrepasen las restricciones básicas. Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas pertinentes utilizando técnicas de mediciones y/o computacionales, y algunos están basados en percepciones y efectos adversos indirectos a la exposición a los CEM. Las cantidades derivadas son la intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la inducción magnética (B), la densidad de potencia (S) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades ( $i$ ). Las cantidades que están dirigidas a la percepción y otros efectos indirectos son las corrientes de contacto ( $i_c$ ) y, para los campos pulsantes, la absorción de energía específica (SA). En cualquier situación de exposición particular, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades pueden compararse con el nivel de referencia adecuado. El cumplimiento del nivel de referencia asegurará el respeto de las restricciones básicas pertinentes. Que los valores medidos o calculados sobrepasen los niveles de referencia no quiere decir que necesariamente se sobrepasen las restricciones básicas. Sin embargo, siempre que un nivel de referencia sea sobrepasado, es necesario evaluar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si son necesarias medidas de protección adicionales.

Algunas cantidades, como la inducción magnética (B) y la densidad de potencia (S), sirven a determinadas frecuencias como restricciones básicas y como niveles de referencia.

La densidad de flujo magnético, la corriente de contacto, la intensidad del campo eléctrico y la del campo magnético y la densidad de potencia se pueden medir directamente.

## **EXPOSICIÓN**

El hecho de estar sometido a campos eléctricos, magnéticos ó electromagnéticos, diferentes a aquellos que se originan debido a procesos fisiológicos en el cuerpo u otro fenómeno natural.

## **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.

## **EXPOSICIÓN POBLACIONAL**

Se aplica para el público en general cuando las personas expuestas como consecuencia de su ocupación podrían no estar conscientes del potencial de la exposición o no puedan ejercer control sobre dicha exposición. Por lo tanto, el público en general siempre cae bajo esta categoría cuando la exposición no está relacionada con la ocupación.

## **EIRP (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)**

La EIRP es el producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de antena con relación a una antena isotrópica.

## **RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

Ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica, originando de esta forma la transferencia de energía a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas).

## **RADIACIÓN NO IONIZANTE**

La radiación no ionizante es la que no posee suficiente energía para causar ionización molecular, pero causa vibración y rotación de las moléculas, caracterizado porque la energía por fotón es menos que 12 eV, las longitudes de onda mayores de 100 nm y frecuencias mas bajas de  $3 \times 10^{15}$  MHz. Entre éstas se tiene: la radiación con radiofrecuencia, microondas, infrarrojas, visible, ultravioleta. Vale decir que cuando estas radiaciones atraviesan los tejidos vivos, no tienen la suficiente energía para dañar el ADN en forma directa.

## **REGIÓN DE CAMPO CERCANO**

Región generalmente en la proximidad de una antena u otra estructura radiante, en la cual los campos eléctrico y magnético no tienen un carácter substancialmente de onda plana, sino que varían considerablemente de punto a punto. La región de campo cercano se subdivide a su vez en región de campo cercano radiante y región de campo cercano reactivo.

## **REGIÓN DE CAMPO CERCANO RADIANTE**

Región donde el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero adolece de carácter de onda plana y es de estructura complicada.

## **REGIÓN DE CAMPO CERCANO REACTIVO**

Región más próxima a una antena u otra estructura de radiación y contiene la mayor parte o casi toda la energía almacenada.

## **REGIÓN DE CAMPO LEJANO**

Región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia a la antena. En esta región el campo tiene un carácter predominante de onda plana.

## ANTENA

La antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

## GANANCIA DE ANTENA

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

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

donde:

- $\theta, \varphi$  son los ángulos en un sistema de coordenadas polares,
- $P_r$  es la potencia radiada a lo largo de la dirección  $(\theta, \varphi)$ ,
- $P_{in}$  es la potencia de entrada total,
- $\Omega$  ángulo sólido elemental a lo largo de la dirección de observación,

## ANEXO 2

### Restricciones básicas de la ICNIRP

Dependiendo de la frecuencia, para especificar las restricciones básicas sobre los campos electromagnéticos se emplean las siguientes cantidades físicas (cantidades dosimétricas o exposimétricas):

- Entre 0 y 1 Hz se proporcionan restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variable en el tiempo de 1 Hz con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central.
- Entre 1 Hz y 10 MHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso.
- Entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas del SAR para prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. En la gama de 100 kHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y del SAR.
- Entre 10 GHz y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia, con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca de ella.

Las restricciones básicas expuestas en el siguiente cuadro se han establecido teniendo en cuenta las variaciones que puedan introducir las sensibilidades individuales y las condiciones medioambientales, así como el hecho de que la edad y el estado de salud de los ciudadanos varían.

## CUADRO 1

### Restricciones básicas de la ICNIRP para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Densidad de corriente en la cabeza y el tronco (mA/m <sup>2</sup> ) (valor eficaz)	SAR Medida 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/f			
	4 Hz-1 kHz	10			
	1-100 kHz	f/100			
	100 kHz-10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz-10 GHz			0,4	10
Público en general	Hasta 1 Hz	8			
	1-4 Hz	8/f			
	4 Hz-1 kHz	2			
	1-100 kHz	f/500			
	100 kHz-10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz-10 GHz			0,08	2

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

NOTA 2 – El objetivo de la restricción básica de la densidad de corriente es proteger contra los graves efectos de la exposición sobre los tejidos del sistema nervioso central en la cabeza y en el tronco, e incluye un factor de seguridad. Las restricciones básicas para los campos FEB se basan en los efectos negativos establecidos en el sistema nervioso central. Estos efectos agudos son esencialmente instantáneos y no existe justificación científica para modificar las restricciones básicas en relación con las exposiciones de corta duración. Sin embargo, ya que las restricciones básicas se refieren a los efectos negativos en el sistema nervioso central, estas restricciones básicas pueden permitir densidades más altas en los tejidos del cuerpo distintos de los del sistema nervioso central en iguales condiciones de exposición.

NOTA 3 – Debido a la inhomogeneidad eléctrica del cuerpo, las densidades de corriente deben promediarse en una sección de corte de 1 cm<sup>2</sup> perpendicular a la dirección de la corriente.

NOTA 4 – Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de la densidad de corriente pico pueden obtenerse multiplicando el valor rms (de la Tabla 4) por 1,414. Para pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones básicas debería ser calculado según:  $f = 1/(2t_p)$ .

NOTA 5 – Para frecuencias hasta 100 kHz y para campos magnéticos pulsantes, la densidad de corriente máxima asociada con los pulsos puede ser calculada de los tiempos de subida / bajada y la máxima tasa de cambio de la densidad de flujo magnético. Luego la densidad de corriente inducida puede ser comparada con la restricción básica apropiada.

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

NOTA 7 – 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.

NOTA 8 – Para pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente a aplicarse en las restricciones básicas debería ser calculado según:  $f = 1/(2t_p)$ . Adicionalmente en el rango de frecuencias de 0,3 a 10 GHz y para exposición localizada en la cabeza, con el objeto de evitar el efecto auditivo causado por la expansión termoelástica, se recomienda una restricción básica adicional. Esta restricción es que la SA promediada sobre 10 g de tejido no debe exceder 10 mJ kg<sup>-1</sup> para trabajadores y 2 mJ kg<sup>-1</sup> para el público en general.

## ANEXO 3

### NIVELES DE REFERENCIA

El respeto de todos los límites de referencia recomendados asegurará el respeto de las restricciones básicas.

Si las cantidades de los valores medidos son mayores que los límites de referencia, no quiere decir necesariamente que se hayan sobrepasado las restricciones básicas. En este caso, debe efectuarse una evaluación para comprobar si los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas.

Los límites de referencia para limitar la exposición se obtienen a partir de las restricciones básicas presuponiendo un acoplamiento máximo del campo con el individuo expuesto, con lo que se obtiene un máximo de protección. En el siguiente cuadro se presentan los límites de referencia. Por lo general, éstos están pensados como valores de promedio calculado espacialmente sobre toda la extensión del cuerpo del individuo expuesto, pero teniendo muy en cuenta que no deben sobrepasarse las restricciones básicas de exposición localizadas.

En determinadas situaciones en las que la exposición está muy localizada, como ocurre con los teléfonos portátiles y con la cabeza del individuo, no es apropiado emplear los límites de referencia. En estos casos debe evaluarse directamente si se respeta la restricción básica localizada.

### CUADRO 2

**Límites de referencia ICNIRP  
(0 Hz a 300 GHz, valores eficaces no perturbados)**

Tipo de Exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de flujo magnético B (T)	Densidad de potencia de onda plana equivalente $S_{eq}$ (W/m <sup>2</sup> )
<b>Ocupacional</b>	Hasta 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-
	1 - 8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5 / f$	$4 \times 10^5 / f^2$	-
	8 - 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 f$	$2,5 \times 10^4 f$	-
	0,025 - 0,82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
	0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-
	0,065 - 1 MHz	610	$1,6/f$	$2,0/f$	-
	1 - 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2,0/f$	-
	1 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
	400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,011f^{1/2}$	$f/40$
	2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50
<b>Público en general</b>	Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
	1 - 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
	8 - 25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	-
	0,025 - 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
	0,8 - 3 kHz	$250/f$	5	6,25	-
	3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
	0,15 - 1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	-
	1 - 10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
	400 - 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
	2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

En cuanto a los valores de cresta, a la intensidad de campo E (V/m), la intensidad de campo H (A/m) y a campo B ( $\mu$ T) se les aplican los siguientes límites de referencia:

NOTA 1 - f según se indica en la columna de gama de frecuencia.

NOTA 2 - Para el caso específico de la frecuencia de 50 Hz, se tendrán los siguientes valores:

Campo eléctrico ocupacional = 10 kV/m  
Inducción magnética ocupacional = 500  $\mu$ T  
Campo eléctrico poblacional = 5 kV/m  
Inducción magnética poblacional = 100  $\mu$ T

NOTA 3 – Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E$ ,  $H$ , y  $B$ , deben ser promediados sobre cualquier periodo de 6 minutos.

NOTA 4 – 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 5 – 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  $S_{90}$ , o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 6 – Para frecuencias mayores a 10 GHz,  $S_{eq}$ ,  $E$ ,  $H$ , y  $B$ , deben ser promediados sobre cualquier periodo de  $68/f^{1,05}$  minutos ( $f$  en GHz).

NOTA 7 – No se ofrece ningún valor de campo  $E$  para frecuencias  $< 1$  Hz, que son efectivamente campos eléctricos estáticos. La mayor parte de la gente no percibirá las molestas cargas eléctricas superficiales con resistencias de campo inferiores a 25 kV/m. Deben evitarse las descargas de chispas que causan estrés o molestias.

#### NOTA:

No se indican niveles de referencia más altos para la exposición a los campos de frecuencia extremadamente baja (FEB) cuando las exposiciones son de corta duración (véase la nota 2 del cuadro 1). En muchos casos, cuando los valores medidos rebasan el nivel de referencia, no se desprende necesariamente que se haya rebasado la restricción básica. Siempre que puedan evitarse los impactos negativos para la salud de los efectos indirectos de la exposición (como los microshocks), se reconoce que pueden rebasarse los niveles generales de referencia, siempre que no rebasen la restricción básica relativa a la densidad. En muchas situaciones de exposición real, los campos FEB externos que se ajustan a los niveles de referencia inducirán en los tejidos del sistema nervioso central densidades de corriente inferiores a las restricciones básicas.

También se reconoce que algunos aparatos habituales emiten campos localizados que rebasan los niveles de referencia. Sin embargo, esto ocurre generalmente en condiciones de exposición en las que no se rebasan las restricciones básicas debido al bajo acoplamiento entre el campo y el cuerpo.

En cuanto a valores de cresta, a la intensidad de campo  $E$  (V/m), la intensidad de campo  $H$  (A/m) y al campo  $B$  ( $\mu$ T) se les aplican los siguientes niveles de referencia:

- para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores de cresta de referencia se obtienen multiplicando los valores rms correspondientes por  $\sqrt{2}$  ( $\approx 1,414$ ). Para pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente que ha de aplicarse debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ ;
- para frecuencias de entre 100 Hz y 10 MHz, los valores de cresta de referencia se obtienen multiplicando los valores rms correspondientes por  $10^\alpha$ , donde  $\alpha = [0,665 \log(f/10^5) + 0,176]$ ,  $f$  en Hz
- para frecuencias de entre 10 MHz y 300 GHz, los valores de referencia de cresta se obtienen multiplicando los valores rms correspondientes por 32.

#### NOTA:

Por regla general, en lo que se refiere a los campos pulsante y/o momentáneos de baja frecuencia, existen restricciones básicas que dependen de las frecuencias, así como niveles de referencia a partir de los cuales pueden establecerse evaluaciones de riesgo y directrices de exposición en relación con las fuentes pulsante y/o momentáneas. Un enfoque tradicional consiste en representar la señal pulsátil o momentánea de CEM como un espectro Fourier con sus componentes en cada gama de frecuencias, pudiendo así compararse con los niveles de referencia correspondientes a esas frecuencias. Para determinar el cumplimiento de las restricciones básicas también pueden aplicarse las fórmulas de adición en caso de exposición simultánea a campos de frecuencia múltiple.

Aunque se dispone de poca información sobre la relación existente entre efectos biológicos y valores máximos de campos pulsante, se sugiere que, en lo que se refiere a frecuencias que sobrepasan los 10 MHz, el promedio  $S_{eq}$  calculado en la anchura del pulso no debe ser mayor de 1 000 veces los niveles de referencia, o bien que las resistencias de campo no deben ser mayores de 32 veces los niveles de referencia de intensidad de campo. Para frecuencias de entre unos 0,3 GHz y varios GHz, y en relación con la exposición localizada de la cabeza, debe limitarse la absorción específica derivada de los pulsos para limitar o evitar los efectos auditivos causados por la extensión termoelástica. En esta gama de frecuencia, el umbral SA de  $4-16 \text{ mJ kg}^{-1}$  que es necesario para producir este efecto corresponde, para 30 pulsos Fs, a valores máximos SAR de 130 a  $520 \text{ W kg}^{-1}$  en el cerebro. Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen mediante interpolación desde la cresta multiplicada por 1,5 a 100 kHz hasta la cresta multiplicada por 32 a 10 MHz.

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

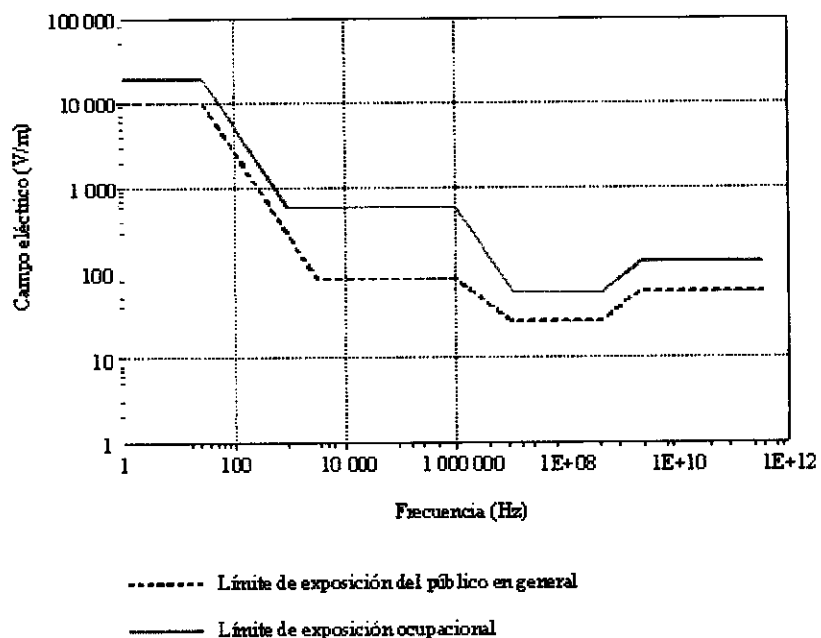


Figura 1 – Límites de referencia ICNIRP de intensidad del campo eléctrico

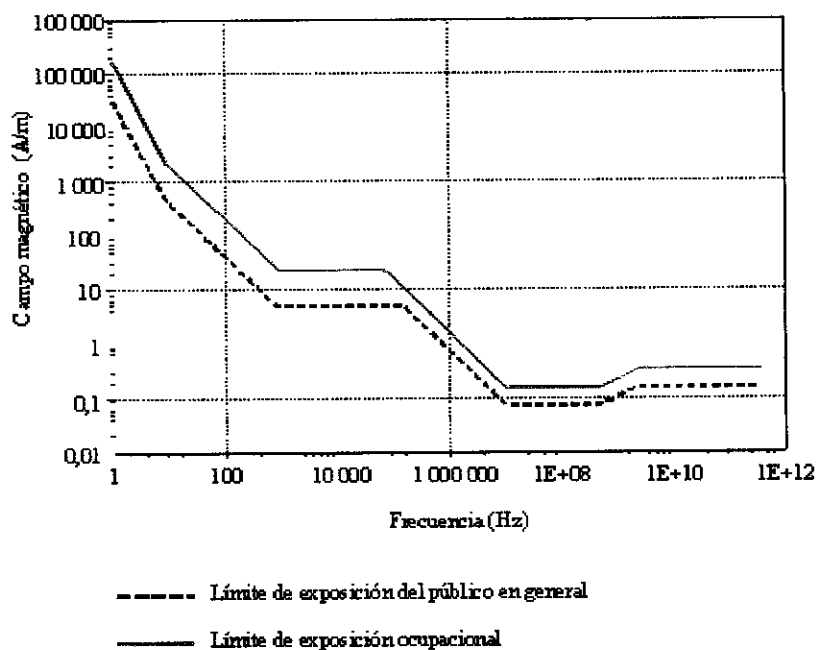


Figura 2 – Límites de referencia ICNIRP de intensidad del campo magnético



## ANEXO 4

### EXPOSICIÓN A FUENTES CON MULTIPLES FRECUENCIAS

En situaciones en las que se da una exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se sumen los efectos de estas exposiciones. Para cada efecto deben hacerse cálculos basados en esa actividad; así pues, deben efectuarse evaluaciones separadas de los efectos de la estimulación térmica y eléctrica sobre el cuerpo.

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  $j$

$a = 610$  V/m para exposición ocupacional y 87 V/m para exposición del público en general

$b = 24,4$  A/m para exposición ocupacional y 5 A/m para exposición del público en general

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

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

donde:

$i$  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  $j$

$c = 610/f$  V/m ( $f$  en MHz) para exposición ocupacional y  $87/f^{1/2}$  V/m para exposición del público en general

$d = 1,6/f$  A/m ( $f$  en MHz) para exposición ocupacional y  $0,73/f$  para exposición del público en general

## ANEXO 5

### A) MEDICIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### 1 CAMPOS ELÉCTRICOS

El campo eléctrico creado en la proximidad de un conductor cargado eléctricamente es el vector la intensidad de campo E y se mide en Volt por metro (V/m).

Para su cuantificación se deberá usar el valor del campo eléctrico no perturbado (es decir, el campo que existiría en ausencia de personas u objetos).

##### 1.1 Procedimientos de medición de campos eléctricos

La medición de campos eléctricos a Extra Baja Frecuencia (ELF, Extra Low Frequency) se debe realizar de acuerdo a las normas de referencia:

- ANSI-IEEE Standard 644-1987 "IEEE Standard Procedure for Measurements of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines".
- IEC 833: "Measurement of Power Frequency Electric Fields".
- International Labour Office, "Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields: A Practical Guide", 1984.

Estos documentos describen el mecanismo de la medición de los campos, la clasificación y los principios de funcionamiento de los principales tipos de instrumentos.

##### 1.2 Comentarios a la Norma IEC 833 - "Measurement Of Power Frequency Electric Fields".

La Norma IEC 833 describe los tipos de instrumentos básicos y su forma de calibración, para mediciones de campos eléctricos a frecuencia industrial.

También da recomendaciones para la medición, y en particular, en el punto 7.2, para la medición en líneas aéreas trifásicas de transmisión. Entre ellas se destacan:

- Respecto a la ubicación del aparato:
  - No recomienda realizar mediciones a nivel del suelo, pues influencia notablemente en el valor del campo eléctrico medido. Razón por la cual el medidor debe ser soportado sobre un trípode aislante.
  - Para las sondas de potencial flotante (sin potencial de referencia fijo) las mediciones no pueden realizarse a una altura sobre el suelo menor a 2 veces la mayor dimensión diagonal de la sonda.
  - El operador debe estar a una distancia de la sonda tal que el efecto de proximidad del observador sea menor al 30 %. Este error de proximidad depende de la altura del operador, de su distancia a la sonda y de la altura de la sonda sobre el suelo. A tal fin la Norma en su Figura 6 presenta curvas que ilustran sobre la variación de la perturbación en función de la distancia observador - dispositivo. De estas curvas se extrae que para asegurar un error menor al 3 % en todos los casos, el observador debe estar a más de 3m de la sonda.
  - La línea entre el observador y el aparato de medición debe ser paralela a los conductores.
  - Si el aparato es asimétrico, debe colocarse la sonda en posición horizontal fija.
- Selección del lugar de medición:
  - Lugar plano libre de objetos que puedan producir interferencias.
  - Si en el lugar de medición existen objetos que no puedan desplazarse deberá indicarse su ubicación y dimensiones.
  - La distancia entre los objetos y la sonda no debe ser menor que 2 veces la dimensión máxima de la sonda.
- Condiciones ambientales:
  - La alta humedad puede inducir a la formación de una película de condensación superficial sobre la sonda, produciendo una corriente de fuga sobre los electrodos que influirá en el valor medido. Si se mide con humedad mayor del 80 % este efecto debe ser tenido en cuenta.

- La temperatura ambiente puede afectar la medición. Por ejemplo a diferencia entre dos mediciones idénticas una a 40 °C y otra a 0 °C es del 8%. La temperatura a la que se efectúan las mediciones no puede ser muy diferente a la de calibración.

La Norma concluye que es imposible evitar los errores que pueden aparecer en la medición de campo eléctrico por lo que establece que la imprecisión total debe ser menor al 10 %.

## **2 CAMPOS MAGNÉTICOS**

El campo magnético es una magnitud vectorial.

La intensidad de campo magnético H se expresa en Amper por metro (A/m).

Para caracterizar campos magnéticos, particularmente en el contexto de los efectos biológicos se usa a menudo la densidad de flujo magnético, B, también conocida como inducción magnética. La densidad de flujo magnético se expresa en Tesla (T).

La densidad de flujo también se suele medir en Gauss, sobre todo en la bibliografía de origen Norteamericano. La equivalencia es 1m G = 0,1 T.

### **2.1 Procedimientos para la medición de campos magnéticos**

Las mediciones de campos magnéticos a 50 Hz (o densidades de flujos magnéticos) se deben realizar de acuerdo con las especificaciones y guías que están indicadas en la bibliografía de la Prenorma ENV - 50166 -1:

- ANSI-IEEE Standard 644-1987 "IEEE Standard Procedure for Measurements of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines".
- International Labour Office, "Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields: A Practical Guide", 1984.

La utilización de las indicaciones de dichas Normas se recomienda hasta que se publiquen las pertinentes Normas IEC o CENELEC.

Los monitores de exposición personal (a veces llamados "dosímetros") se pueden usar para mediciones de campos, solamente si su comportamiento es adecuado para tal uso.

Si se usan sondas de efecto Hall, se advierte que son sensibles también a los campos magnéticos estáticos (incluyendo el campo terrestre o "geomagnético").

### **2.2 Elección del dispositivo de medición**

La gama de frecuencias del dispositivo de medición debe ser conocida y comparada con el espectro de frecuencia o el contenido armónico del campo a medir. Si el espectro de frecuencia o el contenido armónico no se conocen de antemano, puede ser necesario hacer un análisis espectral para comprobar la adecuación del dispositivo al campo a medir.

La incertidumbre global del dispositivo de medición debe ser menor que el 10%.

Básicamente, un medidor de intensidad de campo tiene dos partes: la sonda o el sensor del campo y el detector que consiste en un circuito procesador de señales y un visualizador ("display") analógico o digital.

Los dispositivos pueden poseer sondas isotrópicas (tres elementos sensores ortogonales) o sondas anisotrópicas (elemento sensor uniaxial).

### **2.3 Calibración**

La calibración de los dispositivos de medición se debe realizar en sistemas que crean campos uniformes.

Un campo eléctrico uniforme se puede obtener entre dos placas paralelas substancialmente más anchas que su separación.

Un campo magnético uniforme se puede obtener con bobinas de Helmholtz o con varias disposiciones de bobinas cuadradas de tamaño adecuado.

## **3 Presentación de Resultados**

Los resultados de las mediciones que efectúe el personal técnico, en los sistemas de transporte y distribución bajo su responsabilidad, deben ser enviados a la autoridad de aplicación.

Los protocolos a utilizar en el envío deberán contener la totalidad de la información que permita evaluar el procedimiento utilizado; la posición del instrumento de medición respecto a la instalación (línea, Subestación, Estación Transformadora, etc.), el instrumento empleado y la fecha y forma de su última calibración; y las condiciones climáticas en las que se realizaron las mediciones.

Deberán acompañarse los gráficos y esquemas necesarios a la comprensión de los aspectos señalados más arriba y en especial lo relativo a la configuración de la línea medida (simple terna, doble terna, disposición en bandera, disposición horizontal, cantidad de conductores por fase, etc.)

En los casos en que se informe acerca de campos magnéticos, será imprescindible indicar la intensidad de corriente por fase en el momento de la medición y la corriente nominal de diseño de la línea.

## B) PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS TÉCNICOS PARA TELECOMUNICACIONES.

Los procedimientos y métodos de análisis técnicos para los campos irradiados a través de los servicios de telecomunicaciones, serán realizadas siguiendo los procedimientos establecidos en la **Recomendación UIT-T K.52**, "Orientación sobre el cumplimiento de los Límites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos".

A continuación se resumen los procedimientos esenciales a ser consideradas para Servicios de Telecomunicaciones. Los conceptos o definiciones que no están contenidas en esta Norma, tendrán las interpretaciones dadas en la **Recomendación UIT-T K.52**.

### 1 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 CEM, aun a diferentes frecuencias.

Deben considerarse los siguientes parámetros:

- la EIRP máxima del sistema de antena [véase definición: potencia isotrópica 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 operación;
- 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 CEM.

#### 1.1. Técnicas de evaluación del CEM

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

##### 1.1.1 Métodos de cálculo

###### 1.1.1.1 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.

###### 1.1.1.2 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  $\theta$  (complementario del ángulo de elevación) y  $\phi$  (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*,

$\rho$  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  $\rho$  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:

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

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  $\rho$  de una tierra de conductividad  $\sigma$ , permitividad  $\epsilon = \kappa \epsilon_0$  ( $\epsilon_0$  = permitividad de vacío) y un ángulo rasante de incidencia  $\Psi$  es:

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

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

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 3. Se supone que la exposición se evalúa en el punto O.

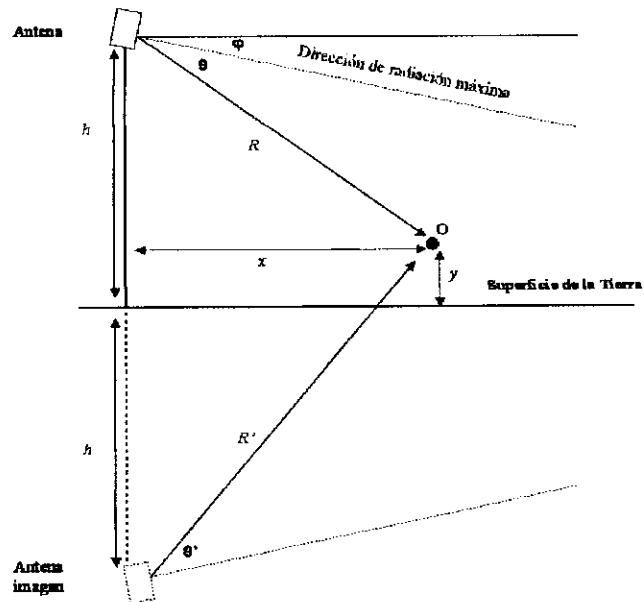


Figura 3 – Definición de las distancias y ángulos verticales

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.

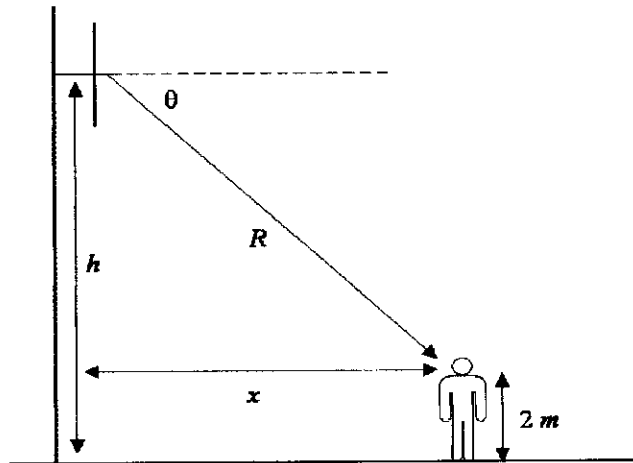
Las ecuaciones anteriores son válidas para la región de campo lejano. Su utilización en la región de campo cercano puede arrojar resultados inexactos (excesivamente conservadores). Por tanto, estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar el cumplimiento de los límites de exposición al CEM.

### 1.1.2 Método de predicción.

A continuación se presenta un ejemplo de utilización de un método de predicción simple para evaluar la exposición al CEM.

#### 1.1.2.1 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 4.



**Figura 4 – 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  $2\text{ m}$  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  $h' = h - 2\text{ [m]}$ . 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.

### 1.1.3 Método 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 sobre normas nacionales o internacionales aplicables al caso, para disponer de información detallada sobre la medición del CEM.

Cuando se mide el CEM, es necesario primero determinar la gama de frecuencias en la que se requiere la determinación de CEM 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.

## ANEXO 6

### SEÑALES DE ADVERTENCIA

#### 1 Diseño de señales de Advertencia Recomendadas

Se sugieren tres tipos de señales de advertencia. La naturaleza del riesgo está indicado por el símbolo, y el grado de riesgo es indicado por la forma y color de la señal. Las señales de advertencia y su significado están indicados debajo. El tamaño de la señal será apropiado a las condiciones de uso, de tal modo que esté claramente distinguible, siendo cualquiera de ellos iluminado o empleando material reflectante como sea necesario.

- a) La señal de **PRECAUCIÓN** con el texto en **NEGRITA** y el símbolo en **Fondo AMARILLO**.
- b) La señal de **ADVERTENCIA** con el texto en **NEGRITA** y el símbolo en **Fondo ANARANJADO**.
- c) La señal de **PELIGRO** con el texto en **ROJO** y el símbolo en **Fondo BLANCO**.

La señal del **PRECAUCIÓN** no se usa generalmente para la demarcación del área, pero pueden ponerse en dispositivos para indicar la presencia de campos de RF.

#### 2 Demarcación del área

Se colocará una señal de **ADVERTENCIA** a la entrada de cualquier zona dentro de la cual, mediante inspección se ha mostrado que los niveles de RF excedieron lo niveles poblacionales, pero están por debajo de los niveles ocupacionales.

La señal de la **ADVERTENCIA** será ubicada donde sea necesario indicar un tiempo de ocupación limitado. En tales casos, la señal de **ADVERTENCIA** será acompañada por palabras tales como "Advertencia: Radiación de Radiofrecuencia - Tiempo de Ocupación Máxima 6 Minutos".

Se colocará una señal de **PELIGRO** a la entrada de cualquier zona donde los niveles del campo superen en exceso aquellos límites especificados en la exposición ocupacional. La señal de **PELIGRO** de este modo indica una zona de **ACCESO DENEGADO**.