

# NTP 698: Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz: criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral

Champs électromagnétiques entre 0 Hz et 300 GHz: critères ICNIRP pour évaluer l'exposition au travail  
Electromagnetic fields between 0 Hz and 300 GHz: ICNIRP regulations to evaluate the occupational exposure

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones	
Válida			
ANÁLISIS			
Criterios legales		Criterios técnicos	
Derogados:	Vigentes:	Desfasados:	Operativos: <b>SI</b>

## Redactor:

Darío San Martín Ferrer  
Ingeniero de Montes

CENTRO NACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

## Introducción

El contenido de esta Nota Técnica de Prevención (NTP), está encaminado a exponer de manera concisa y lo más clara posible, los valores de referencia para exposición laboral a campos electromagnéticos (CEM).

Aunque hasta el día de hoy no se dispone de legislación específica que establezca los niveles de exposición, mencionaremos una serie de Leyes, Reglamentos, Reales Decretos y normas relacionadas con el tema que nos ocupa.

Muy especialmente se hace un estudio detallado de los criterios de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) para valorar la exposición laboral, teniendo en cuenta las Restricciones Básicas que han dado lugar a los Niveles de Referencia recomendados por esta Comisión Internacional creada en 1992.

En esta NTP, se ha tenido en cuenta la Directiva 2004/40/CE sobre CEM y se han comparado los "Valores de Acción" y "Valores Límite de Exposición" dados por la misma, con los "Niveles de Referencia" y "Restricciones Básicas" expuestos por ICNIRP en el año 1998, pudiendo constatar en dicha comparación, la exacta concordancia de unos con otros.

Por tanto, pasamos a la exposición de los criterios de ICNIRP, que son en los que se basan nuestros estudios e informes técnicos sobre exposición laboral a CEM.

## Valores de referencia para exposición a CEM

### Exposición laboral a CEM

Los CEM entre 0 Hz y 300 GHz se agrupan en la categoría de aquellos riesgos para los cuales no se dispone de legislación específica que establezca niveles de exposición, en cuyo caso se aplicarán Normas Técnicas o Guías elaboradas por entidades de reconocido prestigio para llevar a cabo la evaluación del riesgo, de acuerdo con el artículo 5 del Real Decreto 39/1997, Reglamento de los Servicios de Prevención.

De forma general, a la exposición laboral a CEM se le puede aplicar la misma legislación general que a las radiaciones ópticas, para proteger la salud y seguridad de los trabajadores. (Ley 31/1995, Real Decreto 39/1997 Servicios de Prevención, Real Decreto 1215/1997 Equipos de trabajo) y también la legislación de seguridad aplicable a la comercialización de equipos (Real Decreto 1435/1992, modificado por Real Decreto 56/1995).

En todo lo relacionado con el transporte y distribución de energía eléctrica existe la obligación de cumplir el Reglamento de líneas eléctricas de alta tensión (Real Decreto 3151/1968 de 28 de noviembre. B.O.E. 8 marzo 1969) (ver NTP 73 en la bibliografía).

De momento no hay legislación española sobre niveles de exposición laboral para CEM 0 Hz - 300 GHz, al menos hasta que no se publiquen los valores que proponga la UE para los Agentes Físicos en la futura Directiva. Sin embargo al tratarse de un riesgo que ha provocado una gran controversia y preocupación internacional, el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CEN/CENELEC) publicó en 1995 dos normas con carácter experimental, publicadas en España por AENOR en 1996, la UNE-ENV 50166-1 "Exposición

humana a CEM de baja frecuencia (0 Hz a 10 kHz)" y UNE -ENV 50166-2 "Exposición humana a CEM. Alta frecuencia (10 kHz a 300 GHz)".

Dada su condición de normas experimentales, se revisaron en 1997 y se volvieron a adoptar por otro periodo de tres años hasta disponer de más información. Una vez pasado dicho periodo, estas normas fueron retiradas el 22 de junio de 2000 por decisión de la UE y de momento no han sido sustituidas por otras.

Actualmente para dar cumplimiento a la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, y ante la ausencia de una legislación específica que regule la exposición laboral a campos electromagnéticos CEM, el CNNT evalúa el riesgo por exposición a campos electromagnéticos siguiendo los criterios de valoración expuestos en las guías que publica el organismo ICNIRP

El ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) es una comisión internacional de expertos creada en 1992, procedente del IRPA (International Radiation Protection Association). Dicha comisión publica y recomienda «guías o criterios» que establecen restricciones básicas y niveles de referencia para limitar la exposición laboral y la exposición de público en general a CEM.

Para limitar la exposición a campos electromagnéticos alternos y estáticos se han publicado respectivamente:

- ICNIRP. "Guidelines for limiting exposure to timevarying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)". Health Physics, 74, 4, (1998), 494-522.
- ICNIRP. «Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.» Health Physics 66,1,1994, 100-106.

En espera de la aprobación de la Propuesta modificada de Directiva del Consejo relativa a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos en lo que a campos electromagnéticos se refiere, se toman como valores límite los establecidos en dichas guías publicadas por ICNIRP para valorar la exposición a campos electromagnéticos.

## **Directrices para limitar la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables con el tiempo (hasta 300 GHz) ICNIRP (98)**

El principal objetivo de los límites establecidos en las guías del ICNIRP es proteger de los efectos adversos de la salud conocidos, tanto los efectos directos como los indirectos de la exposición a los campos electromagnéticos.

Dichos límites están basados en los efectos a corto plazo, efectos inmediatos en la salud tales como estimulación de los músculos y nervios periféricos, calentamiento de los tejidos tisulares procedente de la absorción de energía por exposición a campos electromagnéticos así como descargas y quemaduras causadas por el contacto con objetos conductores.

Las restricciones establecidas en las guías, basadas en datos científicos recogidos hasta la fecha de su publicación y teniendo en cuenta el grado de conocimiento científico actual, proporcionan un adecuado nivel de protección a la exposición de campos electromagnéticos variables con el tiempo.

En la evaluación de los posibles efectos de la radiación electromagnética sobre la salud, las guías contemplan dos tipos de restricciones:

- a. Las restricciones de la exposición a campos electromagnéticos variables con el tiempo, basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos.
- b. Las restricciones basadas en consideraciones biológicas que reciben el nombre de "restricciones básicas".

Dependiendo de la frecuencia del campo, las magnitudes 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). Puede medirse la densidad de potencia y la inducción magnética con facilidad en los individuos expuestos.

Para establecer las restricciones básicas a los campos electromagnéticos en función de la frecuencia se emplean las siguientes cantidades físicas (cantidades dosimétricas o exposimétricas):

- a. Entre 0 y 1 Hz se proporcionarán restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variables en el tiempo de frecuencia  $\leq 1$  Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central.
- b. 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.
- c. 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 a 10 MHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y del SAR.
- d. 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 del ella.

Las restricciones básicas expuestas en las siguientes tablas se han establecido teniendo en cuenta las variaciones que puedan introducir las sensibilidades individuales y las condiciones medioambientales, así como la variación de la edad y el estado de salud entre las personas expuestas.

**Tabla 1A**  
**Restricciones básicas para campos eléctricos y magnéticos alternos (frecuencias hasta 10 GHz)**

Tipo de exposición	Intervalo de frecuencia	Densidad de corriente inducida para cabeza y tronco (mA m <sup>-2</sup> ) (rms)	SAR medio para todo el cuerpo (W kg <sup>-1</sup> )	SAR localizado (cabeza y tronco) (W kg <sup>-1</sup> )	SAR localizado (extremidades) (W kg <sup>-1</sup> )
Exposición laboral	hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	401f	-	-	-
	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	20
Exposición de público en general	hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	81f	-	-	-
	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	4

**Tabla 1B**  
**Restricciones básicas para la densidad de potencia S (W/m<sup>2</sup>)**

Tipo de exposición	Intervalo de frecuencia	Densidad de Potencia S (W/m <sup>2</sup> )
Exposición laboral	10 GHz - 300 GHz	50
Exposición de público en general	10 GHz - 300 GHz	10

Notas:

- f es la frecuencia en Hz.
- 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 frecuencias muy bajas 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, puesto 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.
- Dada la falta de homogeneidad eléctrica del cuerpo, debe calcularse el promedio de las densidades de corriente en una sección transversal de 1 cm<sup>2</sup> perpendicular a la dirección de la corriente.
- Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores pico de densidad de corriente pueden obtenerse multiplicando el valor cuadrático medio (RMS) por la raíz de dos (41,414). Para pulsos de duración t, la frecuencia equivalente que ha de aplicarse en las restricciones básicas debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ .
- Para frecuencias de hasta 100 kHz y para campos magnéticos pulsátiles, la densidad de corriente máxima asociada con los pulsos puede calcularse a partir de los tiempos de subida/ caída y del índice máximo de cambio de la inducción magnética. La densidad de corriente inducida puede entonces compararse con la restricción básica correspondiente.
- Todos los valores SAR deben ser promediados a lo largo de un período cualquiera de seis minutos.
- La masa promediada de SAR localizado la constituye una porción cualquiera de 10 g de tejido contiguo, el SAR máximo obtenido de esta forma debe ser el valor que se utilice para evaluar la exposición. Estos 10 g de tejido se consideran como una masa de tejidos contiguos con propiedades eléctricas casi homogéneas. Especificando que se trata de una masa de tejidos contiguos, se reconoce que este concepto puede utilizarse en la dosimetría automatizada, aunque puede presentar dificultades a la hora de efectuar mediciones físicas directas. Puede utilizarse una geometría simple, como una masa de tejidos cúbica, siempre que las cantidades dosimétricas calculadas tengan valores de prudencia en relación con las directrices de exposición.
- Para los pulsos de duración t, la frecuencia equivalente que ha de aplicarse en las restricciones básicas debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ . Además, en lo que se refiere a las exposiciones pulsátiles, en la gama de frecuencias de 0,3 a 10 GHz y en relación con la exposición localizada de la cabeza, la SA no debe sobrepasar los 2 mJ/kg<sup>-1</sup> como promedio calculado en 10 g de tejido.

## 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 mediciones y/o técnicas computerizadas, y algunos se refieren a la percepción y a los efectos adversos indirectos de la exposición a campos electromagnéticos.

Los valores medidos en cualquier situación de exposición serán las magnitudes llamadas derivadas que son; intensidad de campo eléctrico (E), la intensidad de campo magnético (H), la inducción magnética (B), la densidad de potencia (S) y la corriente en extremidades ( $I_i$ ). Las magnitudes que se refieren a la percepción y otros efectos indirectos son la corriente de contacto ( $I_c$ ), y para los campos pulsátiles, la absorción específica de energía (SA).

En cualquier situación particular de exposición de un trabajador, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas magnitudes se comparan con el nivel de referencia correspondiente. El cumplimiento de los niveles de referencia garantizará el respeto a las restricciones básicas.

En el caso de que el valor medido sobrepase el nivel de referencia no significa necesariamente que se hayan sobrepasado las restricciones básicas, sino que en este caso, debe comprobarse que los niveles de exposición son inferiores a las restricciones básicas. Algunas magnitudes, como la inducción magnética (B) y la densidad de potencia (S), sirven a determinadas frecuencias como restricciones básicas y como niveles de referencia.

Los niveles 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 una máxima protección. Se establecen niveles de referencia tanto para exposición de público en general como para exposición ocupacional.

Los valores establecidos, tanto en las restricciones básicas como en los niveles de referencia, están pensados como valores promedio calculados espacialmente sobre toda la extensión del cuerpo del individuo expuesto, de forma que no considera diferentes niveles de referencia según las partes del cuerpo a proteger, 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 móviles y con la cabeza del individuo, no es apropiado emplear los niveles de referencia. En estos casos, debe evaluarse directamente si se respeta la restricción básica localizada.

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 nota 2 de tabla 1). En muchos casos, cuando los valores medidos rebasan el nivel de referencia, no se deduce 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 de referencia, siempre que no se rebase la restricción básica relativa a la densidad de corriente.

En cuanto a la existencia de valores de pico de campos pulsados (ej. Rádares), se aplicarán los siguientes niveles de referencia para la intensidad de campo eléctrico (E) (V/m), la intensidad de campo magnético (H) (A/m) y a la inducción de campo magnético (B) (mT):

- Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores pico de densidad de corriente se obtienen multiplicando los valores RMS correspondientes por raíz de dos (1,414). Para pulsos de duración  $t_p$ , la frecuencia equivalente que ha de aplicarse debe calcularse como  $f=1/(2t_p)$ .
- Para frecuencias entre 100 kHz y 10 MHz los valores de pico de las intensidades de campo se obtienen mediante interpolación desde el pico multiplicado por 1,5 a 100 kHz hasta el pico multiplicado por 32 a 10 MHz.
- En lo que se refiere a frecuencias que sobrepasan los 10 MHz, el promedio  $Seq$  calculado en la anchura del pulso no debe ser mayor de 1.000 veces los niveles de referencia, o bien las intensidades de campo no deben ser mayores de 32 veces los niveles de referencia de intensidad de campo establecidos en las tablas.
- 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 mJ/kg que es necesario para producir este efecto corresponde, para pulsos 30ms, a valores máximos SAR de 130 a 520 W/kg en el cerebro.

**Tabla 2**

**Niveles de referencia para exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos (0 Hz a 300 GHz, valores RMS imperturbados).**

Intervalo de frecuencia	Intensidad de campo eléctrico E (V m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana $Seq$ (W m <sup>-2</sup> )
Hasta 1 Hz	-	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	-
1 - 8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 - 25 H z	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	-
10 - 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 - 2.000 MHz	3 f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>	0.01f <sup>1/2</sup>	f/40
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Notas:

1. f según se indica en la columna de gama de frecuencia. (Hz, KHz, MHz ó GHz).
2. Para frecuencias de 100 kHz a 10 GHz, el promedio de Seq, E<sup>2</sup> H<sup>2</sup> y B<sup>2</sup> ha de calcularse a lo largo de un período cualquiera de seis minutos.
3. Para frecuencias superiores a 10 GHz, el promedio de Seq, E<sup>2</sup> H<sup>2</sup> y B<sup>2</sup> ha de calcularse a lo largo de un período cualquiera de 68/f<sup>1,05</sup> minutos (f en GHz).
4. No se ofrece ningún valor de campo E para frecuencias < 1 Hz. La mayor parte de las personas no percibirá las cargas eléctricas superficiales con resistencias de campo inferiores a 25 kV/m. En cualquier caso, deben evitarse las descargas de chispas, que causan estrés o molestias.

## Bibliografía

1. Directive on exposure of workers to the risks from electromagnetic fields.  
*Diario Oficial de la Unión Europea 24.5.2004.*
2. ICNIRPGuidelines (1998)
3. SAN MARTÍN, D., LAVÍN, N.  
Módulo 3. Campos Electromagnéticos. Unidad Didáctica 3.3. del Curso de Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales.  
Editado por el INSHT en soporte CD-ROM. 2001.