

IEEE Standard para los niveles de seguridad respecto de la exposición humana a los campos electromagnéticos de 3kHz hasta 3 GHz

Se pretende establecer unos límites de exposición a los campos electromagnéticos entre 3kHz y 300GHz para evitar los posibles efectos adversos sobre la salud humana.

El trabajo se separa en dos partes. La primera entre 3kHz y 5MHz, en donde los efectos que predominan son los electroestimulación (corrientes inducidas); y la segunda entre 5MHz y 300GHz en donde los fenómenos predominantes son los de calentamiento de los tejidos.

Recomendaciones:

Para la exposición humana a campos electromagnéticos entre 3kHz y 5MHz las restricciones básicas se refieren a los límites en la zona de la exposición a los campos eléctricos que minimizan los efectos asociados a la electroestimulación (corrientes inducidas) y con el calentamiento de los tejidos para frecuencias comprendidas entre 5MHz y 300GHz.

Restricción básica:

En la tabla 1 se muestra la lista de las restricciones básicas para zonas particulares con tejido biológico. (en la tabla 1 y en las siguientes los niveles se refieren a las intensidades de campo para las personas en general, mientras que los niveles de campo de personas en ambiente controlado, se refiere a la intensidad del campo para personas que se encuentren en zonas específicas, como por ejemplo los trabajadores)

		Niveles	Nivel de campo para personas en ambiente controlado
Tejido expuesto	$f_e(\text{Hz})$	E_{rms} (V/m)	E_{rms} (V/m)
Cerebro	20	5.89×10^{-3}	1.77×10^{-2}
Corazón	167	0.943	0.943
Extremidades	3350	2.10	2.10
Otros tejidos	3350	0.701	2.10

Tabla 1: Restricciones básicas para varias regions del cuerpo

Campos máximos permisibles

En la tabla 2 se muestra los niveles de campo máximos permisibles para la exposición a radiofrecuencias entre 3kHz y 5MHz para la cabeza y el tronco

Rango de frecuencias (kHz)	Niveles		Nivel de campo para personas en ambiente controlado	
	Brms(mT)	Hrms(A/m)	Brms(mT)	Hrms(A/m)
3.0 – 3.35	$0.687/f$	$547/f$	$2.06/f$	$1640/f$
3.35 – 5000	0.205	163	0.615	490

Tabla 2: Exposición maxima permisible para cabeza y torso

El acuerdo con la tabla 2 asegura el acuerdo con la tabla 1, pero no al revés.

Exposición a campos no uniformes

Cuando el campo electromagnético no es constante en magnitud, dirección o fase, sobre la cabeza, tronco o extremidades el nivel máximo de campo debe estar limitado por los niveles de la tabla 2.

Exposición de las extremidades

Los niveles máximos de exposición permisibles para las extremidades (brazos y piernas) se muestran en la tabla 3 y su cumplimiento asegura el acuerdo con la tabla 1.

Rango de frecuencias (kHz)	Niveles		Nivel de campo para personas en ambiente controlado	
	Brms(mT)	Hrms(A/m)	Brms(mT)	Hrms(A/m)
3.0–3.35	$3.79/f$	$3016/f$	$3.79/f$	$3016/f$
3.35–5000	1.13	900	1.13	900

Tabla 3: Exposición maxima permisible par alas extermidades.

Exposición a campos electromagnéticos pulsados o no sinusoidales

En esto caso los niveles máximos permisibles han de estar de acuerdo con las tablas 2 y 3

Restricciones básicas para los máximos temporales

Los máximos temporales de los valores de campo eléctrico deben de estar restringidos a los niveles marcados por los valores rms de la tabla 1 multiplicados por $\sqrt{2}$.

Para interpretar esta tabla para ondas no sinusoidales, la frecuencia f se define como $f = \frac{1}{2 \cdot t_p}$ donde t_p es la duración del pico. Para ondas exponenciales, t_p se define como el tiempo en el que la onda decae desde el máximo hasta una magnitud e^{-1} ($\approx 36.8\%$) del máximo

Restricciones básicas de las componentes de Fourier de la señal.

Para una señal electromagnética formada por múltiples frecuencias, se ha de verificar que

$$\sum_0^{5MHz} \frac{A_i}{MPE_i} \leq 1$$

donde A_i es la magnitud de campo de la componente de Fourier de la señal de orden i , y MPE_i es el nivel de campo máximo permisible (tablas 2 y 3) para la señal de frecuencia de orden i .

Exposición uniforme de Cuerpo Entero a campo eléctricos sinusoidales

En la tabla 4 se muestran los niveles máximos permisibles en términos del campo eléctrico imperturbado.

	Niveles	Nivel de campo para personas en ambiente controlado
Rango de frecuencias (kHz)	Erms (V/m)	Erms (V/m)
3 kHz to 100 kHz	614	1842

Tabla 4

Cuando el campo no es constante en magnitud, dirección o fase relativa en toda la extensión del cuerpo humano (tomado como un todo) los valores de los promedios espaciales han de verificar la tabla 4.

Cuando el campo eléctrico externo es pulsado, o formado por múltiples frecuencias, el valor rms del promedio espacial debe estar de acuerdo con los valores de la tabla 4 y con lo expuesto en las restricciones basicas para los maximos temporales y las restricciones básicas de las componentes de Fourier de la señal.

Limites para las corrientes de contacto e inducidas

Las corrientes inducidas y de contacto han de estar limitadas según se especifica en la tabla 5

Condición	Niveles (mA)	Nivel de campo para personas en ambiente controlado (mA)
Ambos pies	$0.90 \cdot f$	$2.00 \cdot f$
Cada pie	$0.45 \cdot f$	$1.00 \cdot f$
Contacto mediante el agarre de la fuente	—	$1.00 \cdot f$
Contacto mediante el roce con la fuente	$0.167 \cdot f$	$0.50 \cdot f$
Nota: f esta expresada en kHz		
Tabla 5: Niveles rms inducidos y de contacto para ondas continuas sinusoidales con frecuencia comprendida entre 3kHz y 100kHz		

Restricciones básicas y Exposición Máxima Permisible para frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 3 GHz

Restricción básica para la exposición de cuerpo entero para frecuencias comprendidas entre 100kHz y 3GHz.

Las restricciones básicas del promedio de cuerpo entero se muestran en la tabla 6. Están basados en los efectos adversos asociados con el calentamiento de los tejidos durante la exposición a las radiofrecuencias.

		Niveles S.A.R. (W/kg)	Nivel de campo para personas en ambiente controlado S.A.R. (W/kg)
Exposición de cuerpo entero	Exposición promedio de cuerpo entero	0.08	0.4
Exposición localizada	Localizado (máximo espacial y promedio)	2 ^A	10 ^A
Exposición localizada	Extremidades y Pinnae (zona cartilaginosa que protege el oído externo, también llamado oreja)	4 ^A	20 ^A
A: Promediado sobre 10g de tejido con forma de cubo			
Tabla 6: Restricciones básicas para frecuencias comprendidas entre 100kHz y 3GHz			

Restricciones básicas para la exposición localizada para señales de frecuencia comprendida entre 100kHz y 3GHz

Las restricciones mostradas en la tabla 6 están establecidas para evitar el aumento excesivo de temperatura en cualquier parte del cuerpo.

Límites de las corrientes de contacto e inducidas, entre 100kHz y 110MHz.

Los niveles de la tabla 7 protegen contra los efectos asociados al calentamiento de los tejidos. Los límites se refieren a la corriente que circula entre el sujeto y un objeto conectado a tierra que esta en contacto con la persona y tomados sobre un promedio de seis minutos

Condición	Niveles (mA)	Nivel de campo para personas en ambiente controlado (mA)
Ambos pies	90	200
Cada pie	45	100
Contacto mediante el agarre de la fuente	—	100
Contacto mediante el roce con la fuente	16.7	50
Tabla 7: Valores rms de las corrientes de contacto e inducidas por ondas continuas y sinusoidales de frecuencia comprendida entre 100kHz y 110MHz		

Exposición máxima permisible para señales de frecuencia comprendida entre 100kHz y 300GHz

Las restricciones básicas protegen contra los efectos adversos asociados al calentamiento, están establecidas para la densidad de potencia de la onda incidente para frecuencias comprendidas entre 3GHz y 300GHz. Estas restricciones vienen de estudiar el umbral de los efectos adversos. Estas restricciones básicas coinciden con los valores de la exposición máxima permisible que se muestran en las tablas 8 y 9, en las que se considera la exposición de cuerpo entero.

Rango de frecuencias (MHz)	Valor rms para el campo eléctrico E (V/m)	Valor rms para el campo magnético H (A/m)	Valor rms de la densidad de potencia ($W \cdot m^{-2}$), suponiendo válida la aproximación de onda plana, según se mida el campo eléctrico o el campo magnético	Tiempo durante el que se promedia la medida (minutos)
0.1–1.0	1842	$16.3/f_M$	$(9000, 100\ 000/f_M^2)$	6
1.0–30	$1842/f_M$	$16.3/f_M$	$(9000/f_M^2, 100\ 000/f_M^2)$	6
30–100	61.4	$16.3/f_M$	$(10, 100\ 000/f_M^2)$	6
100–300	61.4	0.163	10	6
300–3000	–	–	$f_M/30$	6
3000–30 000	–	–	100	$19.63/f_G^{1.079}$
30 000–300 000	–	–	100	$2.524/f_G^{0.476}$

f_M la frecuencia de la radiación expresada en MHz y, f_G es la frecuencia de la radiación expresada en GHz

Tabla 8: Exposición máxima permisible en el rango de 100kHz hasta 300GHz para personas en ambiente controlado

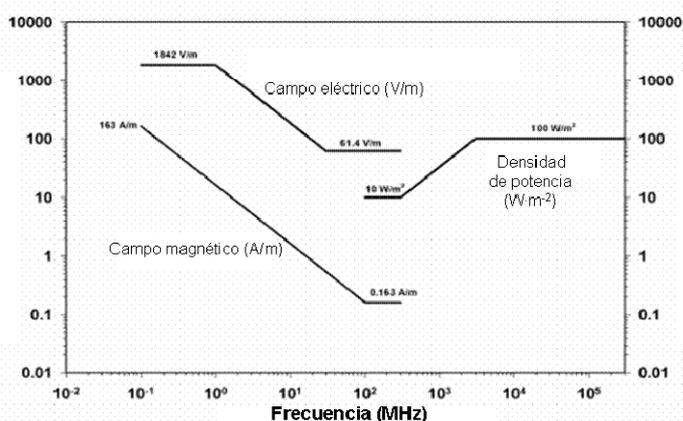


Figura 1: Representación gráfica para los valores de la Tabla 8.

Rango de frecuencias (MHz)	Valor rms para el campo eléctrico E(V/m)	Valor rms para el campo magnético H (A/m)	Valor rms de la densidad de potencia ($W \cdot m^{-2}$), suponiendo válida la aproximación de onda plana, según se mida el campo eléctrico o el campo magnético	Tiempo durante el que se promedia la medida (minutos)	
0.1–1.34	614	$16.3/f_M$	$(1000, 100\ 000/f_M^2)$	6	6
1.34–3	$823.8/f_M$	$16.3/f_M$	$(1800/f_M^2, 100\ 000/f_M^2)$	$f_M^2/0.3$	6
3–30	$823.8/f_M$	$16.3/f_M$	$(1800/f_M^2, 100\ 000/f_M^2)$	30	6
30–100	27.5	$158.3/f_M^{1.668}$	$(2, 9\ 400\ 000/f_M^{3.336})$	30	$0.0636 f_M^{1.337}$
100–400	27.5	0.0729	2	30	30
400–2000	–	–	$f_M/200$	30	
2000–5000	–	–	10	30	
5000–30 000	–	–	10	$150/f_G$	
30 000–100 000	–	–	10	$25.24/f_G^{0.476}$	
100 000–300 000	–	–	$(90 f_G - 7000)/200$	$5048/[(9 f_G - 700) f_G^{0.476}]$	

f_M la frecuencia de la radiación expresada en MHz y, f_G es la frecuencia de la radiación expresada en GHz

Nota: En la columna “**Tiempo durante el que se promedia la medida**”, la columna de la izquierda es para el campo eléctrico E, y la columna de la derecha es para la medida del campo magnético H. Mientras que para frecuencias superiores de a 400MHz, se refiere al tiempo en que se ha de promediar la densidad de potencia

Tabla 9: Exposición máxima permisible en el rango de 100kHz hasta 300GHz para el público en general

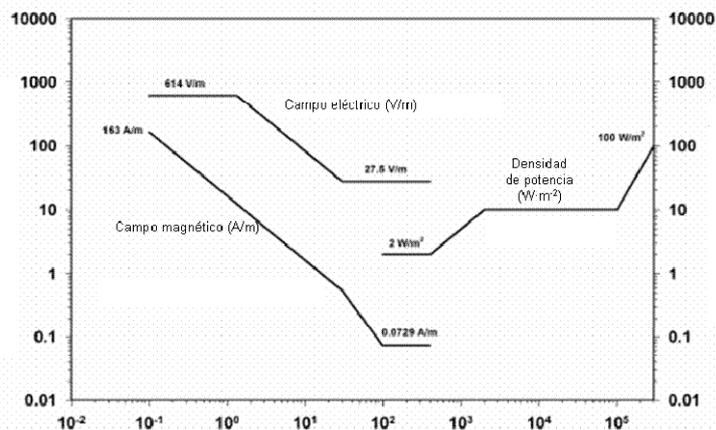


Figura 2: Representación gráfica para los valores de la Tabla 9.

Comparación con el Real Decreto 1066/2001

Una vez establecidos los límites que marca el “**IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3kHz to 300GHz**”, para el público en general (tabla 9), sería conveniente comparar estos valores de la “Exposición máxima permisible” con los niveles de referencia, marcadas por el **Real Decreto 1066/2001**, para los valores del campo eléctrico E y campo magnético H, teniendo en cuenta las sucesivas revisiones que ha tenido, en aquellos rangos de frecuencia en los que coinciden ambos.

Rango de Frecuencias (MHz)	Valor para el campo eléctrico E del IEEE (V/m)	Valor para el campo eléctrico E del RD 1066/2001 (V/m)	Valor para el campo magnético H del IEEE (A/m)	Valor para el campo magnético H del RD 1066/2001 (A/m)
0.1 – 0.15	614	87	16.3/f	5
0.15 – 1	614	87	16.3/f	0.73/f
1 – 1.34	614	$87/f^{1/2}$	16.3/f	0.73/f
1.34 – 3	$823.8/f$	$87/f^{1/2}$	16.3/f	0.73/f
3 – 10	$823.8/f$	$87/f^{1/2}$	16.3/f	0.73/f
10 – 30	$823.8/f$	28	16.3/f	0.0073 ^a
30 – 100	27.5	28	$158.3/f^{1.668}$	0.0073 ^a
100 – 400	27.5	28	0.0729	0.0073 ^a
400 – 2000	X	$1.375 \cdot f^{1/2}$	X	$0.0037 \cdot f^{1/2}$
2000 – 5000	X	61	X	0.16
5000 – 30000	X	61	X	0.16
30000 – 100000	X	61	X	0.16
100000 - 300000	X	61	X	0.16

Tabla 10: Comparación de los valores del IEEE con los valores del campo eléctrico y magnético

a: Corrección de errata de Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, realizada el jueves 18 de abril de 2002

Nota: la frecuencia se encuentra expresada en MHz

A continuación se realiza la misma comparación para los valores de la densidad de potencia.

Rango de Frecuencias (MHz)	Valor rms de la densidad de potencia, suponiendo válida la aproximación de onda plana, si se ha medido el campo eléctrico del IEEE ($W \cdot m^{-2}$)	Valor rms de la densidad de potencia, suponiendo válida la aproximación de onda plana, si se ha medido el campo magnético del IEEE ($W \cdot m^{-2}$)	Valor para la densidad de potencia según el RD 1066/2001 ($W \cdot m^{-2}$)
0.1 – 1.34	1000	$100000/f_M^2$	X
1.34 – 3	$1800/f_M^2$	$100000/f_M^2$	X
3 – 10	$1800/f_M^2$	$100000/f_M^2$	X
10 – 30	2	$100000/f_M^2$	2
30 – 100	2	2	2
100 – 400	2	2	2
400 – 2000	$f_M/200$	$f_M/200$	$f_M/200$
2000 – 5000	10	10	10
5000 – 30000	10	10	10
30000 – 100000	10	10	10
100000 - 300000	$(90 \cdot f_G - 7000)/200$	$(90 \cdot f_G - 7000)/200$	10

Tabla 11: Comparación de los valores del IEEE con los valores de la densidad de potencia

A simple vista se observa que los valores dados por el IEEE son más permisivos que los marcados por el Real Decreto 1066/2001