

# Riesgos de la contaminación radioeléctrica para la salud

JUAN M. OLIVERAS SEVILLA

Los campos de alta frecuencia procedentes de antenas de radio, radares, repetidores de radio o televisión pueden ser peligrosos para la salud si rebasan ciertos límites



En la actualidad todos estamos cada vez más expuestos a intensos campos de alta frecuencia, procedentes de las antenas de radio, radar, repetidores televisivos y telefónicos, etc. Además, muchos investigadores se dedican a estudiarlos para determinar los efectos biológicos sobre el organismo humano y establecer qué valores se pueden absorber sin correr peligro alguno.

Los campos y ondas electromagnéticas se encuentran en la constitución más íntima de la materia y consisten en radiaciones de fotones de distintas energías. A comienzos del siglo XX, el alemán Max Planck descubrió que la energía de un fotón depende de su frecuencia. La frecuencia del fotón o frecuencia de la onda electromagnética determina algunos parámetros como, por ejemplo, los colores; la diferencia entre luz azul y verde es su frecuencia. Si  $f$  es la frecuencia del fotón, su energía  $E$  es proporcional a  $f$  con una constante de proporcionalidad que desde Planck se conoce con la letra  $h$  *constante de Planck*. Su relación es:

$$E = h \cdot f$$

Las moléculas que forman el organismo están enlazadas por fuerzas electromagnéticas y se pueden romper por fuerzas externas de la misma magnitud. Los fotones de alta energía, comprendida entre 0,1 a 1 eV, son capaces de romper las moléculas, ya que la energía del enlace químico está comprendida en el mismo intervalo. Lógicamente, las de energía inferior se consideran radiaciones no ionizantes o no rompedoras de moléculas. De esta forma las denominadas radiaciones no ionizantes abarcan el espectro de frecuencias que se extiende desde los campos estáticos, o no variables con el tiempo, de frecuencia cero hasta los de frecuencia del orden de los 300 GHz.

Los rayos X, cuyo primer descubridor fue el alemán Hertz en 1892 al descubrir que los rayos catódicos pueden atravesar delgadas láminas metálicas, o la radiación gamma al ser ionizantes, son rompedores de moléculas, pueden producir efectos nocivos sobre los tejidos. Empero no basta la incidencia de fotones de alta energía para derivarse daños, es también preciso que el número de fotones sea suficientemente elevado. La dependencia del daño con la intensidad de la radiación permite hablar de dosis de tolerancia y dosis de seguridad también para las radiaciones ionizantes.

El método experimental permitió en los últimos siglos que un conjunto de investigadores: Coulomb, Gauss, Poisson, Oersted, Ampère, Faraday y Maxwell descu-

brieran las leyes que gobiernan el funcionamiento de las interacciones electromagnéticas. A partir de 1880, gracias sobre todo a las investigaciones del alemán Hertz, la inducción electromagnética ocuparía el puesto que le correspondía en las teorías generales que llevaron posteriormente a la relatividad de la mano de Einstein, quien con su Teoría de la Relatividad Restringida concluyó que la velocidad de las ondas electromagnéticas es la misma en todos los sistemas de referencia dejando patente que la consistencia de las ecuaciones de Maxwell es superior a la de las leyes de la mecánica clásica. El establecimiento posterior de la Electrodinámica Cuántica constituyó el último eslabón que permitía cerrar la teoría electro-magnética a nivel atómico. Esto implica que el Electromagnetismo hoy día es una ciencia cerrada y acabada y que sus efectos se pueden, por tanto, calcular. La dificultad para explicar sus efectos sobre la salud viene de la falta de conocimiento detallado de los mecanismos físico-químicos que constituyen la vida, lógicamente amplificados por la enorme complejidad de los procesos biológicos.

Debemos tener en cuenta que los daños derivados de una tecnología como la de los campos electromagnéticos, en valor medio no pueden ser mayores que los daños a los que estamos expuestos diariamente por la existencia natural de dichos campos. Por ejemplo, podemos mencionar que el campo magnético que existe debajo de una línea normal de transmisión de energía eléctrica, como la representada en la *figura 1*, no supera los 20 microteslas. Empero el campo magnético continuo en el que vivimos oscila en torno a los 50 microteslas.

En España existen actualmente más de 13000 km de líneas de alta tensión LAT de 400 kV. El campo eléctrico que produce una LAT depende del voltaje y de la carga, que, a su vez, para un voltaje dado depende de la capacitancia de la línea que esta delimitada por su configuración geométrica. Los valores típicos del campo electromagnético bajo una LAT de 400 kV a nivel del suelo son de 510 kV/m para el campo eléctrico. El campo magnético depende de la intensidad y no directamente del voltaje, por lo que varía con el consumo, y su valor a nivel del suelo bajo la línea oscila entre 1 y 20 microteslas. Tanto el campo eléctrico como el magnético disminuyen a medida que aumenta la distancia a la línea.

Tenemos que saber que el campo eléctrico estático presente en la superficie de la Tierra, debido a una acumulación de

carga negativa en el suelo, es del orden de 150 V/m y puede alcanzar durante las tormentas el valor de 10 kV/m. Podemos resumir que el campo eléctrico máximo en las proximidades de una LAT puede ser 50 veces superior al campo terrestre estático habitual y del mismo valor que el producido en las tormentas, mientras que el campo magnético próximo a la LAT es siempre inferior al campo magnético terrestre.

El cuerpo humano es conductor eléctrico para campos estáticos y de baja frecuencia; por tanto, en presencia de un campo eléctrico las líneas de este campo se distorsionan de tal modo que el campo en la superficie del cuerpo es perpendicular a él y su valor se reduce en el interior del cuerpo. En un campo eléctrico de 10 kV/m se produce en el cuerpo humano una reducción tal que en su interior el campo pasa a ser de 400 microvoltios/m. Empero, como consecuencia de la mayor resistividad de la membrana celular a nivel celular, el campo es de 1 V/m.

Podemos concluir que los valores máximos de campos eléctrico y magnético producidos en la membrana celular es de 1 y 14 V/m, respectivamente, asociados a una LAT, mientras que los producidos por ruido térmico es superior a los 200 V/m.

Los efectos de la exposición a un campo electromagnético son proporcionales a la potencia y al tiempo de exposición. Se podría comparar con la exposición al sol. Si en pleno verano una persona se expone a los rayos solares durante más de seis horas seguidas, por la noche tendrá quemaduras en la piel; si se expone sólo unos minutos, ni siquiera se bronceará un poco.

Otro efecto de los campos electromagnéticos es el calentamiento que producen las microondas de frecuencia coincidente con la de oscilación interna de la molécula de agua en cuerpos que contengan agua. Este efecto de resonancia, que permite absorber la energía de la radiación y transformarla, es la base de funcionamiento de los hornos de microondas. Su efecto es de interés para la telefonía móvil, y en particular en las cercanías de los repetidores de microondas como el de la *figura 2*.

Se sabe que un aumento de la temperatura de un grado forzado por radiación electromagnética produce daño en los tejidos. Para este incremento de temperatura es preciso que el organismo reciba una dosis de 4 vatios por kilogramo. Cuando la energía es inferior a 0,4 W/kg no se producen daños.



Figura 1. Línea de transmisión de energía eléctrica.

Figura 2. Torreta para enlace de microondas.



Este valor constituye el límite de seguridad recomendado.

### Nociones básicas

Las radiaciones electromagnéticas se generan en una antena. La antena radiante la consideramos isótropa, es decir, un radiador ideal, físicamente irrealizable. Entonces, para un monopolo de estas características la expresión que nos da el campo eléctrico producido es:

$$E \text{ (mV/m)} = 300 \frac{\sqrt{P \text{ (kW)}}}{D \text{ (km)}}$$

Es más conveniente trabajar en decibelios (dB), ya que entonces el problema se transforma en una suma y resta de valores, con lo que se simplifican los cálculos. Entonces la expresión del campo queda:

$$E \text{ (dBmV/m)} = 80 + Pt \text{ (dBW)} - 20 \log D \text{ (km)}$$

En la práctica, la mayoría de las antenas radiantes las podemos asimilar a simples monopolos. Además, se van a producir pérdidas que las podemos evaluar como:

Pérdidas:

$$L = A_E - (G_t + G_r + L_{TR}) + L_b + L_{ad}$$

Pérdidas básicas de propagación  $\Rightarrow L_b$   
(dB) = 32 + 20 log D (km) + 20 log f (MHz)

Atenuación del campo  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow A_E = 20 \log \frac{E_o}{E}$$

$L_{TR} \Rightarrow$  Pérdidas en elementos terminales de equipos.

$L_{ad} \Rightarrow$  Pérdidas adicionales por difracción, dispersión, absorción, etc.

Si suponemos una atenuación de campo nula, así como pérdidas despreciables en los equipos emisores y que no se van a producir fenómenos de difracción, dispersión o absorción nos quedaremos sólo con las pérdidas básicas de propagación en los términos correspondientes a la distancia D y la frecuencia de trabajo. Por tanto, el campo eléctrico a una distancia D lo podríamos evaluar como:

$$E \text{ (dBmV/m)}_{TOTAL} = E - L_b \text{ (dB)} = 48 + Pt \text{ (dBW)} - 20 \log D \text{ (km)} - 20 \log f \text{ (MHz)}$$

Como hemos despreciado muchos factores y además el término correspondiente a la distancia sólo lo hemos considerado al calcular el campo teórico sin pérdidas y no en las pérdidas básicas, las distancias de seguridad que obtengamos a partir de esta expresión serán en la práctica las condiciones más severas, pues en

la realidad se pueden dar algunos de los factores despreciados, con lo que el campo será más pequeño y la seguridad para las personas, mayor.

Ayudados de la expresión anterior podemos por ejemplo evaluar el campo producido a distintas distancias por una emisora de 27 MHz emitiendo con una potencia de 100 vatios. Una hoja de cálculo en Excel nos ayudará para obtener los valores de la *tabla 1*.

Si la emisora fuese de 1000 vatios de potencia, los valores obtenidos serían los representados en la *tabla 2*.

Como veremos posteriormente, estos valores están por debajo de los límites de seguridad recogidas en la normativa actual para zonas restringidas. Para zonas de gran público o no restringidas el tema es distinto, pues según la normativa ICNIRP a la frecuencia de 27 MHz el campo máximo permitido es de 28 V/m, luego para la emisora de 1000 vatios es necesario establecer una distancia mínima de seguridad de 10 metros. Pero según la normativa suiza, que limita el campo a 3 V/m en la estación de 100 vatios, debemos utilizar una distancia de seguridad de unos 40 metros; y en la de 1000 vatios, un mínimo de 100 metros.

Si en lugar de utilizar la intensidad de campo en V/m quisiéramos hablar de densidad de potencia en W/m<sup>2</sup>, sólo tendríamos que considerar la relación:

$$\begin{aligned} \text{Campo eléctrico en V/m} &= \\ &= \sqrt{377 * \text{Densidad de potencia en W/m}^2} \end{aligned}$$

### Normativa vigente

A pesar de las crecientes investigaciones y experimentos, faltan datos fiables que demuestren el verdadero peligro que supone la exposición a un campo electromagnético, pero se han establecido unos límites de seguridad que es aconsejable no superar. En sus orígenes, el Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica, Cenelec, comenzó su trabajo en este campo entre los años 1990 y 1991 basado en la iniciativa de Alemania. Los miembros de Cenelec son comités electrotécnicos correspondientes a unos 18 países europeos.

A finales de 1994 se vota en Cenelec por mayoría en favor del que sería el primer estándar europeo conocido como ENV 50166.

El ENV se divide en dos partes: campos de baja frecuencia eléctricos y magnéticos de 0 a 10 kHz recogidos en ENV 50166-1, y las radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia de 10 kHz a 300 GHz recogidos en ENV 50166-2. Los



Distancia metros	Campo E dBmV/m	Campo E mV/m	Campo E V/m	Densidad de potencia W/m <sup>2</sup>
5	85,02	17.825,02	17,83	0,8428
10	79,00	8.912,51	8,91	0,2107
50	65,02	1.782,50	1,78	0,0084
100	59,00	891,25	0,89	0,0021
200	52,98	445,63	0,45	0,0005
500	45,02	178,25	0,18	0,0001

Tabla 1. Valores para la emisora de 27 MHz a 100 vatios.

Distancia metros	Campo E dBmV/m	Campo E mV/m	Campo E V/m	Densidad de potencia W/m <sup>2</sup>
5	95,02	56.367,66	56,37	8,4279
10	89,00	28.183,83	28,18	2,1070
50	75,02	5.636,77	5,64	0,0843
100	69,00	2.818,38	2,82	0,0211
200	62,98	1.409,19	1,41	0,0053
500	55,02	563,68	0,56	0,0008

Tabla 2. Valores para la emisora de 27 MHz a 1000 vatios.

efectos conocidos a bajas frecuencias son la estimulación de los nervios y del tejido muscular y, para altas frecuencias, efectos de calentamiento en la masa corporal.

Las restricciones básicas de la normativa se dirigen a prevenir los efectos biológicos relevantes, como puedan ser la densidad de corriente inducida en bajas frecuencias y el grado de energía absorbida para alta frecuencia.

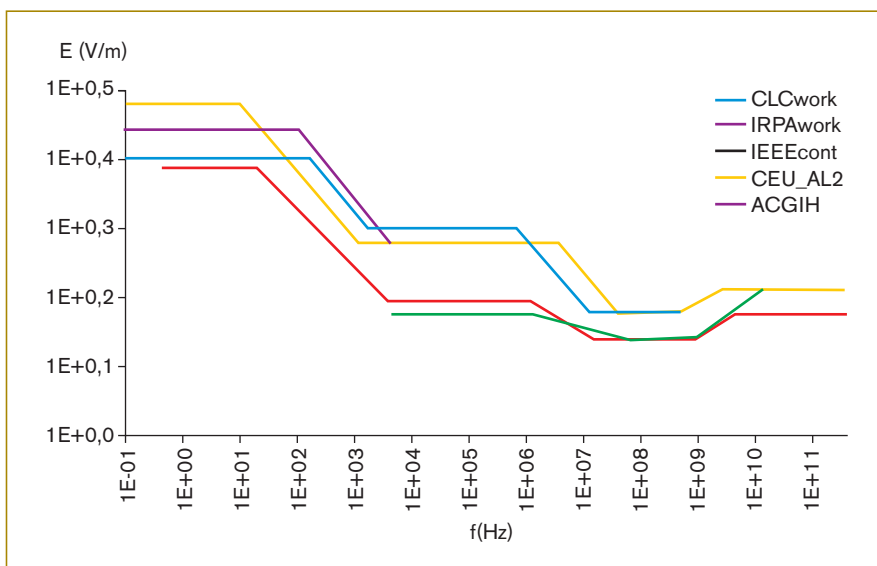
Algunos países europeos han desarrollado sus propias normas para protección de las personas ante los campos electromagnéticos, como por ejemplo las normas NRPB de Gran Bretaña, los

estándar DIN/VDE de Alemania o las normas OVE de Austria, donde se suele distinguir entre zonas controladas e incontroladas como de trabajadores de mantenimiento de las instalaciones y el público en general.

Pero también existe la otra cara de la moneda; de hecho, se ha demostrado que ciertas frecuencias, con intervalos de pausas muy precisas, como las utilizadas en magnetoterapia y en otros aparatos para la medicina electrónica, tienen efectos beneficiosos para nuestra salud.

La gráfica comparativa de la *figura 3* nos da idea de lo cerca que están las distintas normativas vigentes.

Figura 3. Gráfica comparativa de las normativas vigentes.



Los datos están referidos a:

– Cenelec: exposiciones humanas a campos electromagnéticos ENV 50166-2 para alta frecuencia.

– IRPA: guía de límites de exposición a campos electromagnéticos.

– CEU: Comisión de las Comunidades Europeas. Requerimientos para el personal de mantenimiento.

– IEEE: normas de niveles de seguridad con respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

ACGIH: valores límites de seguridad.

Generalmente los límites establecidos por Cenelec, IRPA/ICNIRP y CEU están basados en los mismos criterios. En la gráfica de la *figura 5* se comparan los valores de intensidad de campo para personal de mantenimiento, por lo que estamos hablando de zonas restringidas. Los niveles de CEU están indicados para este caso como CEU\_AL2. Los valores límites americanos IEEE están referidos a áreas controladas, coincidiendo con los valores límites para personal de mantenimiento dados por la también institución americana ACGIH.

En rojo están los límites de campo eléctrico referidos a la guía del ICNIRP y en verde los referidos a la ANSI C95.1 ambas para exposiciones del público en general, es decir, para zonas de acceso no restringido.

Podemos observar que en el rango de valores de alta frecuencia comprendido entre 1 MHz y 30 MHz hay discrepancias entre el criterio europeo (Cenelec) y el criterio americano IEEE. Si utilizamos nuestro ejemplo anterior para un radioaficionado que transmita a 27 MHz con 100 vatios de potencia según Cenelec, el límite de seguridad para las personas circundantes es de 60 V/m y para los americanos (IEEE) sería de 70 V/m. Según nuestra tabla estamos por debajo de los límites considerados como peligrosos para personal de mantenimiento, aunque en el caso de la emisora de 1000 vatios a 5 metros de distancia nos daría un campo teórico de casi 57 V/m. Además, las medidas a distancias tan cortas se falsearían en la práctica por efectos de campo cercano, por lo que sería bueno guardar una distancia de seguridad de al menos 50 metros.

Es decir, para realizar medidas en la práctica que sean fiables la distancia  $d$  a la que se deben tomar las medidas de campo radiado tienen que ser como mínimo:  $d > \lambda/2$ . Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la frecuencia de la emisión cuyo campo se quiere medir. De lo con-

trario, se producirían medidas falsas por efectos de campo cercano, ya que las medidas sólo son aceptables en condiciones de campo lejano en donde se dan las condiciones de proporcionalidad entre los campos eléctrico y magnético que forman la onda electromagnética y en donde se considera que ambos campos evolucionan como ondas planas.

Para nuestro caso de la emisora de 27 MHz sería necesario realizar las medidas de campo con una distancia mínima de 12 metros desde la antena emisora.

Como guía para nuestros cálculos, podemos utilizar una hoja de Excel y obtener la *tabla 3* que relaciona la fre-

cuencia de la radiación en kilohercios con su correspondiente longitud de onda en metros.

Consideremos ahora un transmisor de radiodifusión que radia una potencia de 25 kW a la frecuencia de 15 MHz a través de una torreta radiante. La *tabla 4* muestra los correspondientes valores.

Según la normativa española, que es la misma que la ICNIRP, el campo máximo permitido es de 28 V/m, por lo que habría que disponer una distancia mínima de seguridad de unos 100 metros. Pero si tenemos en cuenta la normativa suiza más restrictiva para onda corta con un límite de 3 V/m, tendríamos

que disponer una distancia mínima de seguridad de unos 1000 metros. Además, si tenemos en cuenta el anexo I de la normativa española, por ser una emisora de radiodifusión de 25 kW, el máximo límite exigido es de 20 km, por lo que se podría establecer una distancia de seguridad de entre 1 y 20 km de separación.

Para frecuencias mayores, y en particular para frecuencias comprendidas entre los 150 MHz y 1,5 GHz, la atenuación por vegetación, por penetración en edificios, atenuación en túneles, etc., aumenta considerablemente. Para poderlas evaluar, se pueden utilizar las fórmulas empíricas de Hata. Éstas dan una expresión para las pérdidas que depende de la frecuencia, distancia, altura de antena emisora, altura de antena receptora, efecto de zona urbana o zona abierta; y dentro de zona urbana, distinción entre ciudad mediana y ciudad grande según valores de frecuencia. Estos cálculos realizados para una emisora que trabaje a 450 MHz con una altura de antena emisora de 100 metros y la antena receptora de 1,5 metros, pues para nuestro caso será el cuerpo humano, en zona abierta nos dan unas pérdidas:

$$L_b \text{ (dB)} = 77 + 31,8 \log D \text{ (km)}$$

Por lo que:

$$E \text{ (dBmV/m)}_{\text{TOTAL}} = E - L_b \text{ (dB)} = 80 + P_t \text{ (dBw)} - 77 - 31,8 \log D \text{ (km)}$$

Redondeando, queda:

$$E \text{ (dBmV/m)}_{\text{TOTAL}} = 3 + P_t \text{ (dBw)} - 32 \log D \text{ (km)}$$

Realicemos la correspondiente *tabla 5* para una emisora de 50 vatios y 450 MHz.

Según la normativa ICNIRP el campo máximo permitido para esta frecuencia de 450 MHz es de  $1,375 \sqrt{450} = 29 \text{ V/m}$ , luego tendríamos que dejar una distancia mínima de 10 metros. Pero según la normativa suiza, con una limitación de 3 V/m serían necesarios unos 30 metros de separación. Además, si consideramos el anexo I de la normativa española, la distancia máxima exigible para este caso es de 1 km y si cumple las CRE de 300 metros. Luego, supuesto que cumple las CRE, podríamos establecer una distancia de seguridad entre los 50 y los 300 metros.

Los límites de exposición al público en general son valores más bajos. Los adoptados por la Comisión Internacional para la Protección de la Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) vienen dados en la *tabla 6*.

Tabla 3. Relación frecuencia-longitud de onda.

F (Khz)	Denominación de la onda Longitud de onda (m)	electromagnética
0,05	6.000.000	Frecuencia industrial
0,3	1.000.000	VLF Miriamétricas
0,4	750.000	VLF Miriamétricas
1	300.000	VLF Miriamétricas
3	100.000	VLF Miriamétricas Banda 4
10	30.000	VLF Miriamétricas Banda 4
20	15.000	VLF Miriamétricas Banda 4
30	10.000	LF Kilométricas Banda 5
75	4.000	LF Kilométricas Banda 5
100	3.000	LF Kilométricas Banda 5
200	1.500	LF Kilométricas Banda 5
300	1.000	MF Hectométricas Banda 6
400	750	MF Hectométricas Banda 6
500	600	MF Hectométricas Banda 6
1.000	300	MF Hectométricas Banda 6
2.000	150	MF Hectométricas Banda 6
3.000	100	HF Decamétricas Banda 7
4.000	75	HF Decamétricas Banda 7
5.000	60	HF Decamétricas Banda 7
6.000	50	HF Decamétricas Banda 7
10.000	30	HF Decamétricas Banda 7
20.000	15	HF Decamétricas Banda 7
30.000	10	HF Decamétricas Banda 7
150.000	2	VHF Métricas Banda 8
300.000	1	VHF Métricas Banda 8 Microondas
500.000	0,60	UHF Decimétricas Banda 9 Microondas
900.000	0,33	UHF Decimétricas Banda 9 Microondas
1.000.000	0,30	UHF Decimétricas Banda 9 L Microondas
3.000.000	0,10	UHF Decimétricas Banda 9 S Microondas
12.000.000	0,025	SHF Centimétricas Banda 10 C Microondas
30.000.000	0,010	SHF Centimétricas Banda 10 X Microondas
60.000.000	0,005	EHF Milimétricas Banda 11 Ku Microondas
100.000.000	0,0030	EHF Milimétricas Banda 11 Ka Microondas
300.000.000	0,0010	EHF Milimétricas Banda 11 Microondas

Diversos países han desarrollado normativas propias para la protección de la población frente a las radiaciones no ionizantes. Quizá la norma que más influencia ha tenido en el desarrollo de otras guías y normativas ha sido desarrollada por el ANSI, actualmente mantenida por el ANSI/IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica e Instituto para el Standard Nacional Americano). Los límites de la exposición dictados por la norma ANSI/IEEE C95.1 se dan en la *tabla 7*.

Estos valores son muy similares a los del ICNIRP, aunque los márgenes frecuenciales son diferentes. Algunos países como Canadá, Austria, Gran Bretaña, Alemania o Suecia han desarrollado normativas genéricas parecidas a las descritas.

Para dispositivos que emiten potencias bajas no se tienen en cuenta estos valores de exposición máxima permitida, siempre que el dispositivo se utilice a más de 2 cm del cuerpo, si las potencias emitidas no superan 1,4 W para frecuencias entre 100 kHz y 450 MHz, y  $1,4 \cdot 450/f$  W para frecuencias comprendidas entre 450 MHz y 1,5 GHz.

Merece ser destacada una ordenanza federal que se aprobó en Suiza en diciembre de 1999, conocida como ORNI, que establece los límites representados en la *tabla 8* en comparación con los del ICNIRP.

La ordenanza suiza se establece en función de la aplicación del principio de precaución y se basa en la existencia de indicaciones verosímiles de las exposiciones crónicas a las radiaciones no ionizantes de bajo nivel que pueden ser nocivas para la salud de las personas. Los límites se aplican al público en general y de forma estricta a las zonas sensibles.

Otros países, como Italia o el land de Salzburgo, o en Austria han establecido también límites específicos para telefonía móvil. En el caso de Italia, el límite se establece en 6 V/m para el campo eléctrico medido en el interior de los hábitáculos cercanos a la instalación. En el caso de Salzburgo, el límite se ha fijado en 0,6 V/m, que es un valor muy bajo en comparación con los fijados por el ICNIRP.

En el ordenamiento jurídico español se dan los límites mediante el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria

Distancia metros	Campo E dBmV/m	Campo E mV/m	Campo E V/m	Densidad de potencia W/m <sup>2</sup>
50	94,02	50.237,73	50,24	6,69451
100	88,00	25.118,86	25,12	1,67363
200	81,98	12.559,43	12,56	0,41841
500	74,02	5.023,77	5,02	0,06695
1000	68,00	2.511,89	2,51	0,01674
10000	48,00	251,19	0,25	0,00017

Tabla 4. Valores para la emisora de 15 MHz a 25 kilovatios.

Distancia metros	Campo E dBmV/m	Campo E mV/m	Campo E V/m	Densidad de potencia W/m <sup>2</sup>
10	84,00	15.848,93	15,85	0,6662829
20	74,37	5.228,20	5,23	0,0725041
30	68,73	2.732,79	2,73	0,0198094
40	64,73	1.724,66	1,72	0,0078898
50	61,63	1.206,84	1,21	0,0038633
100	52,00	398,11	0,40	0,0004204
200	42,37	131,33	0,13	0,0000457
500	29,63	30,31	0,03	0,0000024
1000	20,00	10,00	0,01	0,0000003

Tabla 5. Valores para la emisora de 450 MHz a 50 vatios.

Frecuencia	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)
0 – 1 Hz		3,2 10 <sup>4</sup>
1 – 8 Hz	10.000	3,2 10 <sup>4</sup> / f <sup>2</sup>
8 – 25 Hz	10.000	4 10 <sup>3</sup> / f
25 – 800 Hz	250/f	4/f
0,8 – 3 kHz	250/f	5
3 – 150 kHz	87	5
150 kHz – 1 MHz	87	0,73/f
1 – 10 MHz	87/ f <sup>1/2</sup>	0,73/f
10 – 400 MHz	28	0,073

Tabla 6. Resumen de la normativa ICNIRP.

Frecuencia (MHz)	Campo eléctrico (V/m)	Campo magnético (A/m)
0,003 – 0,1	614	163
0,1 – 1,34	614	16,3 /f
1,34 - 3	823'8/f	16,3 /f
3 – 30	823'8/f	16,3 /f
30 – 100	27'5	158,3 /f
100 – 300	27'5	0,0729

Tabla 7. Resumen de la Norma ANSI/IEEE C95.1.

Tabla 8. Comparativa de los límites ORNI e ICNIRP por tipo de instalaciones.

Tipo de instalación	Límite ORNI	Límite ICNIRP
Líneas alta tensión (V > 1000 V)	1 μT	100 μT
Estaciones transformadoras	1 μT	100 μT
Ferrocarriles	1 μT	100 μT
Estaciones base	4 V/m (900 MHz)	40 V/m
Telefonía móvil	6 V/m (1800 MHz)	60 V/m
Estaciones de radiodifusión (AM, FM, TV..)	8,5 V/m (onda larga y media) 3 V/m (para el resto)	87 V/m – 30 V/m 28 V/m – 35 V/m

Frecuencia (MHz)	Servicio	Potencia radiada (kW)	Máxima distancia de separación exigible (km)	Máxima distancia de separación exigible + CRE (km)
F ≤ 30	Radiodifusión	0,01 < P ≤ 1	2	
		1 < P ≤ 10	10	
		P > 10	20	
F ≤ 30	Otros servicios	0,01 < P ≤ 1 P > 1	2 10	1 y CRE 5 y CRE
30 < F ≤ 3.000	Radiodifusión Radiolocalización Investigación espacial (sentido Tierra-espacio)	0,01 < P ≤ 1	1	
		1 < P ≤ 10	2	
		P > 10	5	
30 < F ≤ 3.000	Otros servicios	0,01 < P ≤ 1 P > 1	1o 2	0,3 y CRE 1 y CRE
F > 3.000	Radiolocalización Investigación espacial (sentido Tierra-espacio)	0,001 < P ≤ 1	1	
		1 < P ≤ 10	2	
		P > 10	5	
F > 3.000	Otros servicios	0,001 < P	1o	0,2 y CRE

Tabla 9. Normativa española.

frente a emisiones radioeléctricas. Los niveles son los mismos que los aplicados por el ICNIRP; además, en el anexo I sobre limitaciones y servidumbres para la protección de determinadas instalaciones radioeléctricas se dan las máximas distancias de separación exigibles y que se reproducen en la *tabla 9*.

En la disposición se indica que las condiciones radioeléctricas exigibles (CRE) serán aquellas condiciones técnicas y de apantallamiento o protección que deban incluirse en las estaciones radioeléctricas a fin de que sus emisiones no perturben el normal funcionamiento de las estaciones.

Los países del Este, en particular la antigua URSS y Polonia, así como China, han desarrollado normativas propias que se apartan de las aproximaciones del ICNIRP. Una gráfica como la de la *figura*

4 las compara adecuadamente. En concreto, para exposiciones continuadas en campos de radiofrecuencia se establecen límites de 0,1 W/m<sup>2</sup>. Unas 100 veces más bajos que los valores de occidente para frecuencias de telefonía móvil. Estos valores límites se van aumentando a medida que el tiempo de exposición disminuye. Así, se puede llegar a 10 W/m<sup>2</sup> para exposiciones de menos de 20 minutos diarios.

A la vista de tan diversos valores, la polémica está servida, ya que los países más restrictivos marcan unos límites de densidad de potencia entre 0,01 y 0,1 W/m<sup>2</sup>, mientras que los menos restrictivos lo limitan entre 10 y 100 W/m<sup>2</sup>. Es decir, 2 a 6 V/m para los restrictivos y 60 a 194 V/m para los menos como IEEE, IIRP...etc. Por esa razón la Organización Mundial de la Salud (OMS) inició

a mediados de los noventa el Proyecto CEM (Proyecto Internacional sobre Campos Electromagnéticos), destinado a estudiar los efectos de los campos electromagnéticos en la gama de frecuencias de 0 – 300 GHz sobre seres humanos para establecer unos límites de exposición a dichos campos. Este proyecto tendrá sus resultados en el año 2005 – 2006, después de realizar las correspondientes investigaciones científicas. Pues con la OMS colaboran diversas organizaciones como: CIIC (Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer), OIT (Oficina Internacional del Trabajo), UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), UE (Unión Europea), CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), OTAN (Organización del Tratado del Atlántico

Figura 4. Gráfica comparativa entre países.

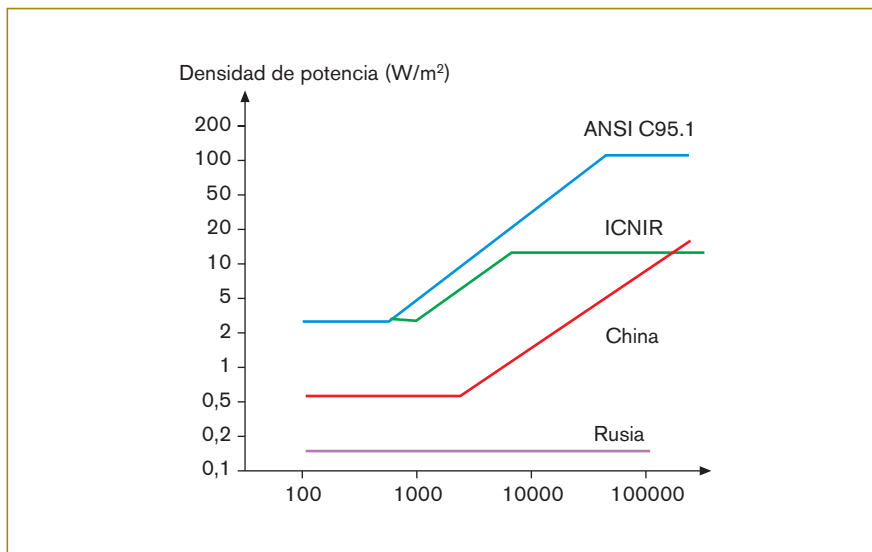
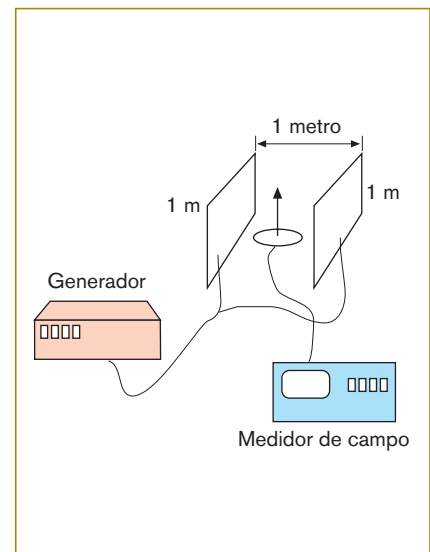


Figura 5. Local apantallado para calibración.





Norte), y la ya mencionada CIPRNI en español (Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes).

### Cómo medir los V/m

El dispositivo a utilizar para realizar las medidas de campo deberá estar bien calibrado. Una forma de realizar esta calibración es disponiendo en un local apantallado a modo de jaula de Faraday, como el representado en la figura 5, dos placas metálicas de cobre o de aluminio de un metro cuadrado separadas una de la otra un metro y aplicar mediante un generador la señal de RF con un voltio de amplitud. La antena con la que se vayan a realizar las medidas estará dispuesta entre las placas y conectada al medidor de campo que puede ser un analizador de espectro. Entonces el medidor indicará un valor por ejemplo en dBµV. Lo que le falte para indicar 120 dBµV, que es un voltio, será un factor de antena que tendremos que sumar cuando realicemos las medidas de campo. De forma que:

$$\text{Campo en dB}\mu\text{V/m} = \text{dB}\mu\text{V del medidor} + \text{Factor de antena}$$

Por ejemplo, si al aplicar entre placas la señal de un voltio para una frecuencia de 150 MHz el medidor nos indica 90 dBµV el factor de antena a considerar será:  $120 \text{ dB}\mu\text{V} - 90 \text{ dB}\mu\text{V} = 30 \text{ dB}\mu\text{V}$

Por lo que si al realizar una medida en campo abierto con esta misma antena para la que el medidor ha sido calibrado a la frecuencia de 150 MHz éste marca 75 dBµV el valor real del campo en dicho punto será:

$$\begin{aligned} \text{Campo real} &= \text{dB}\mu\text{V del medidor} + \\ &+ \text{Factor de antena} = 75 + 30 = \\ &= 105 \text{ dB}\mu\text{V/m} \end{aligned}$$

A la hora de realizar medidas y en particular si son con un teléfono móvil o en las proximidades de torretas repetidoras de telefonía, si éste se coloca junto a la antena medidora puede dar medidas del orden de los 20 V/m, pero esto no es preocupante pues los teléfonos móviles en GSM transmiten paquetes de impulsos digitales con intervalos de pausas. Por tanto, aunque se superen los valores máximos durante unos minutos, no son en absoluto peligrosos. Sí son peligrosas las señales que permanecen en los niveles máximos durante varios días.

### Bibliografía

- Kraus, John D. *Electromagnetismo*. Editorial McGraw-Hill.
- Messadié, Gerald. *Grandes descubrimientos de la Ciencia*.
- Especificaciones europeas ES 59005:1998
- Informes sanitarios EN 50357:200X
- BOE núm.234 anexos I y II.
- Cenelec. *Human exposure to electromagnetic fields*.
- IEEE C95.1-1991/. IEEE C95.3-2002 Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields.
- ICNIRP. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics.

## AUTOR

### Juan M. Oliveras Sevilla

Ingeniero técnico en Electricidad con especialización en Electrónica por la Escuela Politécnica de Cartagena y diplomado en Radiotécnica por el Centro de Estudios AFHA. Desde 1982 trabaja como técnico en la empresa Izar, antigua Bazán, de construcciones navales.

**MASTERTOP®**

**degussa.**

*creating essentials*

## Sistema MASTERTOP® 200 Para "blindar" sus pavimentos

Construya su negocio sobre una base firme de "metal"  
Recubrimiento monolítico a base de agregados metálicos, para pavimentos de hormigón.



Le seguimos informando en: [www.degussa-cc.es](http://www.degussa-cc.es)

Degussa Construction Chemicals España, S.A. Basters, 15 - 08184 Palau-solità i Plegamans (Barcelona)  
Tel: 93 862 00 60 Fax: 93 862 01 11 [www.degussa-cc.es](http://www.degussa-cc.es) [degussa-cc@degussa-cc.es](mailto:degussa-cc@degussa-cc.es)



Les agradecería me remitieran más información sobre MASTERTOP® 200

Sr./a: ..... Empresa: ..... Actividad: .....  
Dirección: ..... Población: ..... C.P.: .....  
Telf: ..... Fax: ..... e-mail: .....

Degussa Construction Chemicals España, S.A. Basters, 15 - 08184 Palau-solità i Plegamans (Barcelona)

TE. IN.

Los datos que Vd. nos facilita serán incluidos en el fichero de Degussa C. C. España, S.A. para la relación comercial con Vd. Los datos facilitados son necesarios, por lo que su cumplimentación es obligatoria. Vd. tiene el derecho de acceso, rectificación, cancelación y oposición, que podrá ejercitar comunicándolo por carta a: Degussa C. C. España, S.A. (Atención al Cliente, c/ Basters, 15, Palau-solità i Plegamans, Barcelona)