

## NTP 234: Exposición a radiofrecuencias y microondas (I). Evaluación

Exposition aux radiofréquences et micro-ondes. (I) Évaluation  
Radio frequencies and microwaves exposure. (I) Evaluation

| Vigencia          | Actualizada por NTP | Observaciones                                                                                   |                |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Válida            |                     | Posteriormente apareció la Directiva 2004/40/CE, cuyos valores de referencia no recoge esta NTP |                |
| ANÁLISIS          |                     |                                                                                                 |                |
| Criterios legales |                     | Criterios técnicos                                                                              |                |
| Derogados:        | Vigentes: SI        | Desfasados:                                                                                     | Operativos: SI |

### Redactor

Josep Mestre Rovira  
Ingeniero Técnico Eléctrico

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

### Introducción

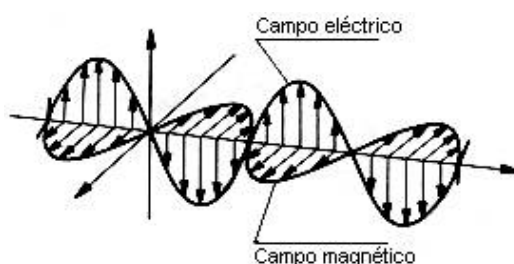
Esta nota técnica tiene por objeto dar a conocer el riesgo que puede existir por la exposición de personas a campos electromagnéticos de radiofrecuencias o microondas (RF-MO), así como, algunos criterios y recomendaciones básicas para su evaluación.

Los límites de exposición en que se han basado estos criterios de evaluación, proceden de la publicación realizada en su día por el International Non-Ionizing Radiation Protection Committee of the International Radiation Protection Association (IRPA/INIRC), a cuya consulta queda emplazado el lector para un completo tratamiento del tema.

Las medidas de prevención y protección frente a estos riesgos serán objeto, de otra nota técnica de prevención.

### Características físicas

Una onda electromagnética está formada por una componente eléctrica  $\vec{E}$  (intensidad de campo magnético  $\vec{H}$  v/ m). estos vectores son perpendiculares entre sí y a su vez, perpendiculares respecto a la dirección de propagación de la onda. al producto vectorial de estas dos componentes  $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$  se le conoce como vector de poynting que representa a la densidad de potencia de la onda ( $w/m^2$ ).



**Fig. 1: Representación de una onda electromagnética**

El valor medio del vector de Poynting de una onda plana puede expresarse como:

$$\vec{S} = \vec{k} E^2 / 120\pi = \vec{k} 120\pi H^2$$

donde:

$\vec{k}$  vector unitario de la dirección de propagación

E = valor eficaz de la intensidad de campo eléctrico

H = valor eficaz de la intensidad de campo magnético

## Frecuencia. Longitud de onda. Energía fotónica

Los campos eléctricos y magnéticos de una radiación varían sinusoidalmente a una frecuencia  $f$  (Hz).

La velocidad a que se desplazan las radiaciones electromagnéticas depende de las constantes físicas: permitividad  $\epsilon$  (F/m) y permeabilidad  $\mu$  (H/m) del medio. En el aire se cumple:

$$v = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = \text{velocidad de la luz}$$

$$\epsilon_0 = \text{permitividad absoluta del aire} = 10^{-9} / 36 \pi \text{ farad/m}$$

$$\mu_0 = \text{permeabilidad absoluta del aire} = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ henry/m}$$

La velocidad ( $v$ ), la frecuencia ( $f$ ) y la longitud de onda ( $\lambda$ ) están relacionadas por la ecuación:

$$\lambda = v/f$$

En la tabla 1 se indican las frecuencias y longitudes de onda en el vacío para las distintas bandas del espectro electromagnético.

| No ionizante<br>$hf < 12,4 \text{ eV}$ |                       |                       |                         |                         |                                | Ionizante<br>$hf < 12,4 \text{ eV}$ |                         |                          |                   |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Subradio<br>frecuencias                | Radio<br>frecuencias  | Microondas            | Infrarrojos             | Luz<br>visible          | Ultravioletas<br>no ionizantes | Ultravioletas<br>ionizantes         | Rayos X                 | Rayos $\gamma$           | Rayos<br>cósmicos |
| 0<br> <br>30 kHz                       | 30 kHz<br> <br>1 GHz  | 1 GHz<br> <br>300 GHz | 300 GHz<br> <br>385 THz | 385 THz<br> <br>750 THz | 750 THz<br> <br>3000 THz       | 3 Phz<br> <br>30 PHz                | 30 PHz<br> <br>300 EHHz | 3 EHHz<br> <br>3000 EHHz | >3000 EHHz        |
| $\infty$<br> <br>100 km                | 100 km<br> <br>300 mm | 300 mm<br> <br>1 mm   | 1 mm<br> <br>780 nm     | 780 nm<br> <br>400 nm   | 400 nm<br> <br>100 nm          | 100 nm<br> <br>10 nm                | 10 nm<br> <br>1 pm      | 100 pm<br> <br>0,1 pm    | < 0,1 pm          |

| N  | Banda                                | f                      | $\lambda$              | Aplicaciones                                                           |
|----|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 11 | EHF<br>Extremely high<br>frequencies | 300 GHz<br> <br>30 GHz | 1 mm<br> <br>10 mm     | Comunicaciones diversas.<br>Radar de navegación.                       |
| 10 | SHF<br>Super high<br>frequencies     | 30 GHz<br> <br>3 GHz   | 10 mm<br> <br>100 mm   | Radar, radio, satélite.<br>Usos industriales.<br>Fisioterapia.         |
| 9  | UHF<br>Ultra high<br>frequencies     | 3 GHz<br> <br>300 MHz  | 100 mm<br> <br>1 m     | Horno microondas.<br>Usos industriales y médicos.<br>Fisioterapia. TV. |
| 8  | VHF<br>Very high<br>frequencies      | 300 MHz<br> <br>30 MHz | 1 m<br> <br>10 m       | Radio FM, TV.                                                          |
| 7  | HF<br>High<br>frequencies            | 30 MHz<br> <br>3 MHz   | 10 m<br> <br>100 m     | Soldadura plásticos.<br>Diatermia.<br>Radio OC.                        |
| 6  | MF<br>Medium<br>frequencies          | 3 MHz<br> <br>300 kHz  | 100 m<br> <br>1 Km     | Radio AM.                                                              |
| 5  | LF<br>Low<br>frequencies             | 300 kHz<br> <br>30 KHz | 1 Km<br> <br>10 Km     | Calentamiento por inducción.                                           |
| —  | ELF<br>Extremely<br>low frequencies  | 30 KHz<br> <br>0 Hz    | 10 Km<br> <br>$\infty$ | Ultrasonidos.<br>Técnicas de audio.<br>Transporte energía eléctrica.   |

N determina la anchura de cada banda entre  $0,3 \cdot 10^N - 3 \cdot 10^N$  Hz  
(Internacional Telecommunication Union - ITU)

**Tabla 1: Espectro de radiaciones electromagnéticas**

Según la teoría cuántica a cada onda electromagnética le corresponde un fotón cuya energía vale

$$W = hf$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js (cte. de Planck)}$$

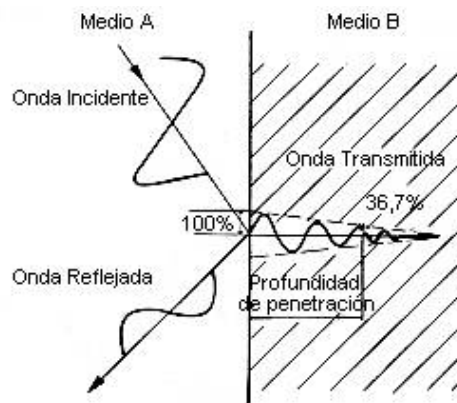
$$f = \text{Frecuencia de la radiación (Hz)}$$

La energía fotónica de las radiaciones RF - MO varía entre  $1,24 \cdot 10^{-9}$  eV y  $1,24 \cdot 10^{-3}$  eV, resultando insuficiente para alterar estructuras moleculares. Para ello se precisa una energía diez mil veces mayor (12,4 eV) que se alcanza dentro de la banda ultravioleta ( $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

Por consiguiente las radiaciones RF-MO junto con las infrarrojas, luz visible y una parte de ultravioletas son RADIACIONES NO IONIZANTES.

## Reflexión, Absorción. Transmisión

Las radiaciones electromagnéticas pueden ser absorbidas, reflejadas o transmitidas por la materia.



**Fig. 2: Reflexión, absorción y transmisión de una onda al pasar, de un medio, a otro electromagnéticamente distinto**

La frecuencia de la radiación junto con algunas características del medio material (conductividad, permitividad constante dieléctrica, tamaño, espesor) determinan los grados de absorción, reflexión y transmisión.

En el caso de tejidos animales que interaccionan con radiaciones de RF-MO suelen darse en mayor o menor grado los tres fenómenos.

Como consecuencia de la absorción de energía se produce una atenuación de la onda a medida que avanza por el medio material. Se denomina profundidad de penetración a la distancia en que las amplitudes de los campos eléctricos y magnéticos se reducen por el coeficiente  $e^{-1}$  (36,7%), o, la densidad de potencia se reduce por  $e^{-2}$  (13,5%), respecto de los valores en la superficie. (Tabla 2)

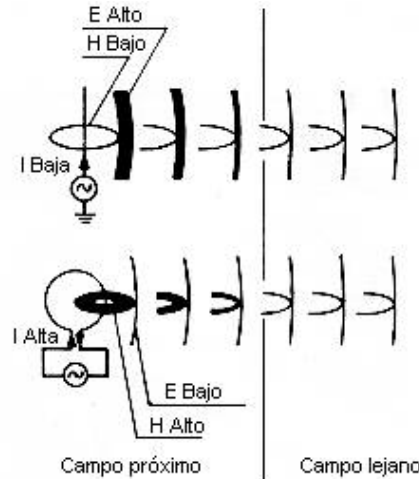
| Bandas establecidas<br>según las características<br>de absorción                                                                                                                                                                                               | Frecuencia<br>MHz | Profundidad de penetración (cm)                           |                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                |                   | Músculos, piel y tejidos<br>con alto<br>contenido en agua | Grasa, huesos y tejidos<br>con bajo<br>contenido en agua |
| Banda de subresonancias<br>$f < 30 \text{ MHz}$<br>Domina la absorción superficial en el<br>cuerpo pero no en cuello y piernas.<br>La absorción decrece rápidamente<br>con la frecuencia.                                                                      | 1                 | 91,30                                                     | -                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 10                | 21,60                                                     | -                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 27,12             | 14,30                                                     | 159,00                                                   |
| Banda de resonancias<br>$30 \text{ MHz} < f < 400 \text{ MHz}$<br>La absorción es alta debido<br>a resonancias del cuerpo<br>entero ( $\approx 70 \text{ MHz}$ ), o parciales<br>como la cabeza ( $\approx 400 \text{ MHz}$ )                                  | 40,68             | 11,20                                                     | 118,00                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 100               | 6,66                                                      | 60,40                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 200               | 4,79                                                      | 39,20                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 300               | 3,89                                                      | 32,10                                                    |
| Banda de puntos calientes<br>$400 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$<br>Se produce absorción localizada<br>por resonancias o por enfoque<br>quasi-óptico del campo<br>electromagnético incidente.<br>El tamaño de los calientes varía<br>entre 1 y varios cm. | 433               | 3,57                                                      | 26,20                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 750               | 3,18                                                      | 23,00                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 915               | 3,04                                                      | 17,70                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 1500              | 2,42                                                      | 13,90                                                    |
| Banda de absorción superficial<br>$2 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$<br>La energía se disipa en la superficie<br>del cuerpo de forma similar a<br>las radiaciones infrarrojas.                                                                              | 2450              | 1,70                                                      | 11,20                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 3000              | 1,61                                                      | 9,74                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 5000              | 2,78                                                      | 6,67                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 5300              | 0,72                                                      | 5,24                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 8000              | 0,41                                                      | 4,61                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                | 10000             | 0,34                                                      | 3,39                                                     |

## Campo próximo y campo lejano

En la proximidad de un elemento radiante (campo próximo, Zona de Fresnel) normalmente se desconoce la fase y la relación existente entre los vectores de campo eléctrico  $\vec{E}$  y de campo magnético  $\vec{H}$

La densidad de potencia  $\vec{S}$  oscila rápidamente con la distancia al elemento radiante, lo que la hace inoperante para definir las características del campo electromagnético en esa zona.

Por consiguiente será necesario medir por separado cada una de las componentes  $\vec{E}$   $\vec{H}$  para poder definir el campo electromagnético. (Fig. 3)



**Fig. 3: Representación gráfica de E y H en campo próximo y campo lejano**

La distancia mínima (d) respecto del elemento radiante, que se extiende al campo próximo es una longitud de onda ( $\lambda$ ). Si el tamaño (a) del elemento radiante es mucho mayor que  $\lambda$ , esa distancia puede verse aumentada hasta  $2a^2/\lambda$ . A mayor distancia del elemento radiante (campo lejano, Zona de Fraunhofer) los campos eléctricos y magnéticos están en fase y los módulos de los vectores que los representan se relacionan por la expresión:

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = 120 \pi \approx 377 \text{ ohm}$$

donde

$Z_0$  es constante y se la denomina impedancia espacial.

La densidad de potencia S de la radiación por ángulo sólido es constante y se puede utilizar para medir y definir las exposiciones. En esta zona basta con realizar una sola medición de E, H ó S para poder calcular las otras dos sabiendo que:

$$S = E^2 / 120 \pi = H^2 120 \pi (\text{W/m}^2)$$

## Efectos biológicos

Como resultado de una amplia labor investigadora basada en experimentación animal, en modelos humanos artificiales, o en estudios epidemiológicos de personas expuestas, la literatura científica cita diversos efectos producidos en los seres vivos que se exponen a campos electromagnéticos de RF-MO y que se clasifican según su origen en efectos térmicos y efectos no térmicos.

### Efectos térmicos

Los principales son: hipertermia, quemaduras, cataratas y esterilidad.

La absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su inmediata conversión en calor produce incrementos de temperatura en el interior del cuerpo. A diferencia de una exposición a radiaciones solares o de infrarrojos en que el calor se genera en la superficie, en una exposición a RF-MO, debido a su poder penetrante, el calor también se genera en los tejidos profundos.

Si estos incrementos de temperatura no pueden ser compensados por los mecanismos de termorregulación corporales, como son la vascularización interna y la evaporación del sudor, se produce la hipertermia y el estrés térmico.

Se citan casos de animales que han muerto por hipertermia en exposiciones a varios miles de  $\text{mW/cm}^2$  y otros casos en que se han encontrado lesiones en órganos internos después de exposiciones de larga duración en campos menos intensos.

En el hombre y en los animales son especialmente sensibles a los efectos térmicos las partes transparentes de los ojos que por su bajo riego sanguíneo disipan muy mal el calor.

Un incremento de temperatura en estas partes puede producir una inhibición del proceso de mitosis y diferenciación celular en el cristalino con la consiguiente aparición de cataratas.

Una elevación prolongada de temperatura en los testículos, que en condiciones normales permanecen a 4°C por debajo de la temperatura corporal, podría dañar a las células germinales.

## **Efectos no térmicos**

Ciertos trastornos se observan sin que medie un incremento significativo de temperatura y por ello se les atribuye un origen no térmico. En estos casos no siempre queda establecida una correlación entre el efecto y la dosis de radiación recibida y, en general se admite que los conocimientos en este terreno deben ser ampliados en un futuro inmediato.

Algunos de estos efectos son:

- Alteraciones celulares, cromosómicas y genéticas.
- Alteraciones del ritmo cardíaco y de la tensión arterial.
- Alteraciones del encefalograma.
- Efectos endocrinos y neuro endocrinos.
- Efectos hematopoyéticos.
- Efectos sobre la audición.
- Efectos sobre la reproducción y el desarrollo.
- Aumento del eflujo de calcio.
- Cambios de comportamiento en los individuos.

## **Aplicaciones**

El uso de RF-MO ha estado tradicionalmente asociado a las telecomunicaciones. Ha sido en las últimas décadas cuando se ha extendido de forma creciente a procesos industriales, actividades médicas y científicas, e incluso domésticas, de forma que en la actualidad sus aplicaciones son innumerables y están basadas en las propiedades de transmitir información, de detectar la presencia de objetos y cambios en el medio, o en producir calor.

Los equipos generadores pueden tener una potencia desde fracciones de watt en el caso de algunas transmisiones hasta centenares de kW en procesos industriales de secado, emisoras de radiodifusión o estaciones de radar. Las principales aplicaciones industriales son:

### **Calentamiento por inducción**

El calentamiento se produce por exposición de metales a campos magnéticos intensos. Las frecuencias son de 10 Hz a varios MHz y las potencias de 1 kW a 5000 kW.

Cabe citar las operaciones de soldadura, recocido, temple, secado de metales pintados, etc.

### **Calentamiento por histéresis dieléctrica**

El calentamiento se produce por exposición de materiales aislantes a campos eléctricos intensos.

Las frecuencias utilizadas suelen ser 13,56 MHz-27,12 MHz-40,68 MHz y las potencias de 500 W a 200 kW.

Cabe citar la soldadura, fusión y reblandecimiento de plásticos.

## **Límites de exposición**

### **Límites básicos**

Normalmente los límites básicos de exposición a RF-MO suelen establecerse sobre la energía electromagnética absorbible por una masa biológica en un tiempo determinado.

| EXPOSICIONES LABORALES                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO EN GENERAL                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f < 10$ MHz                                                                                                                                                                                  | $f \geq 10$ MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $f < 10$ MHz                                                                                                                                                     | $f \geq 10$ MHz                                                                                                                                                                                                                                        |
| Se corresponden con los valores (eficaces) de E y H que se indican en la Tabla 4 de límites operativos.                                                                                       | <p>TAE <math>\leq 0,4</math> W/kg<br/>promediada en el cuerpo entero y en cualquier período de 6 minutos de la jornada laboral (8 h cada 24 h)</p> <p>TAE <math>\leq 4</math> W/kg<br/>promediada en cualquier gramo de tejido y en cualquier período de 6 minutos de la jornada laboral (8 h cada 24 h)</p> | Se corresponden con los valores (eficaces) de E y H que se indican en la Tabla 5 de límites operativos.                                                          | <p>TAE <math>\leq 50,08</math> W/kg<br/>promediada en el cuerpo entero y en cualquier período de 6 minutos del día.</p> <p>TAE <math>\leq 0,8</math> W/kg<br/>promediada en cualquier gramo de tejido y en cualquier período de 6 minutos del día.</p> |
| La duración de la exposición laboral se limita a la jornada laboral o turno de trabajo cada 24 horas durante una vida laboral de un individuo                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Estos niveles de exposición pueden administrarse para Exposiciones continuadas de 24 h/día durante toda la vida de un individuo, sea cual fuese su edad y salud. |                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Debido a los escasos conocimientos de los efectos biológicos de las radiaciones RF-MO, especialmente los de origen no térmico se recomienda evitar o minimizar las exposiciones innecesarias. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Tabla 3: Límites básicos de exposición a RF-MO (IRPA/INIRC)**

A esta magnitud se le denomina:

- TAE Tasa de Absorción Específica.
- SAR Specific Absorption Rate.
- DAS Débit d'Absorption Spécifique.

y se expresa en watt por kilogramo (W/kg o J·kg<sup>-1</sup>·S<sup>-1</sup>)

La TAE puede ser promediada sobre toda la masa de un cuerpo expuesto o sobre cualquiera de sus partes. También puede promediarse en todo el tiempo de exposición, en un pulso, o en un período modulado de radiación.

Los límites básicos también pueden expresarse, para frecuencias inferiores a 10 MHz, en términos de E (V/m) y de H (A/m).

Según ANSI C95.1-1982 (2), se consideró, tras una minuciosa revisión de la bibliografía científica, que no había observación de efectos adversos en experimentación animal para exposiciones por debajo de 4 W/kg. Tomando un coeficiente de seguridad de 10, fija los límites de exposición laboral en una TAE media para todo el cuerpo de 0,4 W/kg y de 8 W/kg para cualquier gramo de tejido, promediados en cualquier período de 6 minutos. Consecuencia de ello es que se permiten cortas exposiciones a campos intensos.

El calor que genera un individuo en reposo (calor basal) equivale a una potencia específica media aproximada de 1,2 W/kg. Si el individuo realiza un trabajo pesado este valor puede ser hasta cinco veces superior.

Con un incremento medio de 0,4 W/kg se espera evitar tanto los efectos adversos irreversibles como el agotamiento por calor de los individuos expuestos.

## Límites operativos

Dado que la TAE no es medible si no es en condiciones de laboratorio, se establecen normalmente unos límites operativos, que se expresan en unidades de E, H ó S correspondientes a una onda plana en el aire, que produciría en el cuerpo expuesto una TAE bastante aproximada a la fijada como límite básico.

Actualmente en España, en ausencia de legislación específica vinculante, y ante la necesidad de controlar las exposiciones a RF-MO puede recurrirse a diversas normas publicadas por entes científicos de todo el mundo.

En las tablas 4 y 5 se exponen los límites de exposición de RF-MO fijados por el IRPA/INIRC 1983

| Intervalo de frecuencia<br>MHz | Campo eléctrico<br>V/m | Campo magnético<br>A/m  | Densidad de potencia<br>equivalente a ondas planas |                    |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
|                                |                        |                         | W/m <sup>2</sup>                                   | mW/cm <sup>2</sup> |
| 0,1 - 1                        | 194                    | 0,51                    | * 100                                              | * 10               |
| > 1 - 10                       | 194 / f <sup>1/2</sup> | 0,51 / f <sup>1/2</sup> | * 100 / f                                          | * 10 / f           |
| > 10 - 400                     | 61                     | 0,16                    | 10                                                 | 1                  |
| > 400 - 2 000                  | 3 f <sup>1/2</sup>     | 0,008 f <sup>1/2</sup>  | f / 40                                             | f / 400            |
| > 2000 - 300 000               | 137                    | 0,36                    | 50                                                 | 5                  |



**Tabla 4: Límites operativos de exposición laboral a RF-MO (IRPA/INIRC 1983)**

f = frecuencia en MHz

Para ondas planas, estos valores implican una TAE  $\approx 0,4$  W/kg.

Para  $f > 10$  MHz pueden sobrepasarse los límites indicados (en aplicaciones específicas) si se garantiza que la TAE permanece por debajo de los límites básicos de exposición a RF-MO (IRPA/INIRC).

Para  $f < 10$  MHz pueden sobrepasarse los límites indicados hasta 615 V/m y 1,6 A/m si se toman medidas para evitar las quemaduras de R.F.

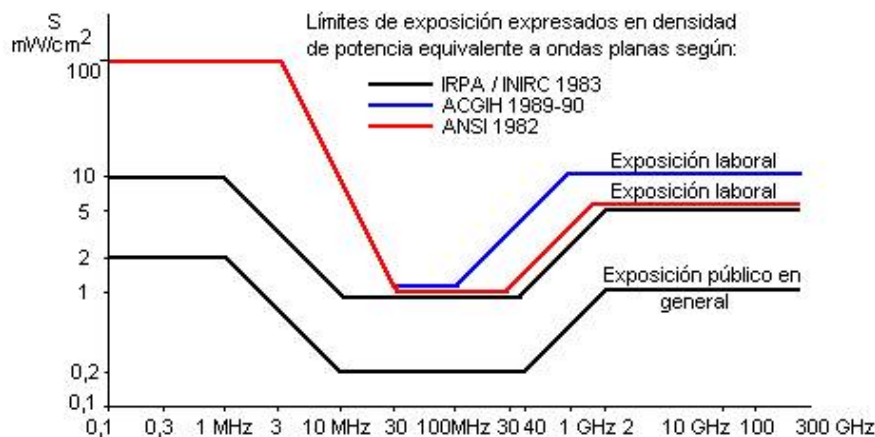
\* Valores apuntados a título indicativo, no deben utilizarse para valorar exposiciones.

| Intervalo de frecuencia<br>MHz | Campo eléctrico<br>V/m | Campo magnético<br>A/m | Densidad de potencia<br>equivalente a ondas planas |                    |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
|                                | V/m                    | A/m                    | W/m <sup>2</sup>                                   | mW/cm <sup>2</sup> |
| 0,1 - 1                        | 87                     | 0,23                   | * 20                                               | * 2                |
| > 1 - 10                       | $87 f^{1/2}$           | $0,23 / f^{1/2}$       | $* 20 / f$                                         | $* 2 / f$          |
| > 10 - 400                     | 27,5                   | 0,07                   | 2                                                  | 0,2                |
| > 400 - 2 000                  | $1,375 f^{1/2}$        | $0,0037 f^{1/2}$       | $f / 200$                                          | $f / 2000$         |
| > 2000 - 300 000               | 61                     | 0,16                   | 10                                                 | 1                  |

**Tabla 5: Límites operativos de exposición del público en general a RF-MO (IRPA/INIRC 1983)**

f = frecuencia en MHz

\* Valores apuntados a título indicativo, no deben utilizarse para valorar exposiciones.



**Tabla 6: Límites operativos de exposición expresados en densidad de potencia según IRPA/INIRC 1983, ACGIH 1989-90, ANSI 1982**

Los límites de exposición indicados son válidos para exposiciones de cuerpo entero a campos electromagnéticos modulados o no, aunque provengan de una o más fuentes.

Los conocimientos actuales acerca de exposiciones parciales o totales del cuerpo, indican que para ambos casos deben adoptarse los mismos límites.

Aunque la exposición total del cuerpo en un corto periodo de tiempo a densidades de potencia hasta 10 veces superior a los valores indicados en las tablas no deberían producir efectos adversos, es muy recomendable que las exposiciones se mantengan por debajo de los límites indicados.

## Evaluación del riesgo de exposición

Los criterios de evaluación que se indican a continuación intentan resumir la aplicación de los límites operativos de exposición a RF-MO establecidos por IRPA/INIRC para exposiciones laborales y de público en general tanto para laborales y de público en general tanto para campos permanentes modulados o no, como para campos pulsantes.

### Campos permanentes modulados o no

| f<br>MHz       | t f<br>s       | E f<br>V/m     | H f<br>A/m     | S f<br>W/m <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| f <sub>1</sub> | t <sub>1</sub> | E <sub>1</sub> | H <sub>1</sub> | S <sub>1</sub>          |
| f <sub>2</sub> | t <sub>2</sub> | E <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | S <sub>2</sub>          |
| ▪              | ▪              | ▪              | ▪              | ▪                       |
| ▪              | ▪              | ▪              | ▪              | ▪                       |
| ▪              | ▪              | ▪              | ▪              | ▪                       |
| f <sub>n</sub> | t <sub>n</sub> | E <sub>n</sub> | H <sub>n</sub> | S <sub>n</sub>          |

**Tabla 6: Datos básicos para valorar exposiciones a campos de una o varias frecuencias**

$f$  = cada una de las frecuencias existentes en el lugar que se valora.

$t_f$  = tiempo de exposición para cada frecuencia dentro del período de 6 minutos que se considera.

$E_f, H_f, S_f$  = magnitudes de campo medidas en cada frecuencia.

$LE_f, LH_f, LS_f$  = valores límites establecidos para cada una de las frecuencias.

## Campos pulsantes

Debido a que actualmente se dispone de poca información acerca de la relación existente entre efectos biológicos y valores de pico de campos pulsantes, se recomienda que, para todas las frecuencias, los valores instantáneos no excedan en 100 veces los valores indicados en las tablas. Además tampoco deben exceder los límites indicados, cuando se promedien en cualquier período de seis minutos.

|                                                          | CAMPO PRÓXIMO                                                                                                                         | CAMPO LEJANO                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          | Se considera que no hay riesgo si se verifican en cada caso, todas las expresiones                                                    | Se considera que no hay riesgo si se verifican en cada caso, una cualquiera de las expresiones                                                                                                           |
| Todas las frecuencias existentes son $\leq 10$ MHz       | $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot E_f}{LE_f} \leq 1$ $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot H_f}{LH_f} \leq 1$         | $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot E_f}{LE_f} \leq 1$ $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot H_f}{LH_f} \leq 1$                                                                            |
| Al menos una de las frecuencias existentes es $> 10$ MHz | $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot E_f^2}{LE_f^2} \leq 1$ $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot H_f^2}{LH_f^2} \leq 1$ | $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot E_f^2}{LE_f^2} \leq 1$ $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot H_f^2}{LH_f^2} \leq 1$ $\frac{1}{360} \sum_{f=1}^n \frac{t_f \cdot S_f^2}{LS_f^2} \leq 1$ |

**Tabla 7: Criterios para la evaluación del riesgo de exposición a campos de RF-MO no pulsantes**

## Medición

Para poder evaluar el riesgo de exposición a radiaciones electromagnéticas de RF-MO es preciso conocer las magnitudes  $H$ ,  $E$ , ó  $S$  de los campos existentes en la proximidad del individuo.

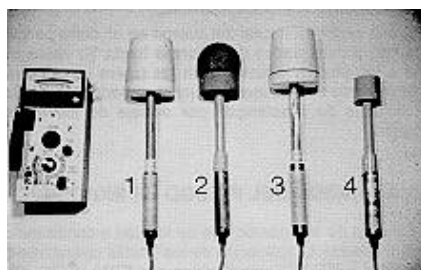
Las estimaciones de cálculo partiendo de las características de la fuente y de otros condicionantes ambientales resultan engorrosos y, en ocasiones, poco fiables, por lo que en la práctica se impone la realización de mediciones de radiación con el instrumental adecuado.

Estos equipos constan de un aparato medidor y un conjunto de varias sondas intercambiables que deben conectarse en cada caso según la frecuencia y la componente del campo que se pretenda medir.

Por lo general estas sondas actúan a modo de antena y son sensibles sólo a una de las componentes  $\vec{E}$  ó  $\vec{H}$  del campo y la magnitud que indica el instrumento es el módulo de la densidad de potencia  $\vec{S}$  de la radiación.

Cuando sea preciso, la transformación de  $E$  ó  $H$  a densidad de potencia  $S$ , o viceversa, puede realizarse fácilmente a partir de las siguientes expresiones:

$$E = \sqrt{120 \pi S} \quad H = \sqrt{S / 120 \pi}$$





| Sondas vistas en fotografía | Campo | Banda de funcionamiento MHz | Lecturas en instrumento (fondo escala) m W/cm <sup>2</sup> | Sobrecarga                   |                          |
|-----------------------------|-------|-----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                             |       |                             |                                                            | Continúa m W/cm <sup>2</sup> | Pico m W/cm <sup>2</sup> |
| 1                           | H     | 0,3 - 10                    | 2 - 20 - 200                                               | 600                          | 600                      |
| 2                           | H     | 10 - 300                    | 2 - 10 - 100                                               | 300                          | 300                      |
| 3                           | E     | 0,3 - 1000                  | 2 - 200 - 200                                              | 600                          | 600                      |
| 4                           | E     | 300 - 40000                 | 1 - 10 - 100                                               | 1000                         | 300                      |

**Fig. 6: Equipo medidor portátil de RF-MO con sondas isotrópicas sensibles a campos magnéticos o eléctricos**

## Bibliografía

(1) ACGIH .

**Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment**  
Cincinnati, ACGIH, 1989

(2) ANSI -1982.

**American National Standard Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 300 kHz to 100 GHz**  
New York, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc,

(3) INRS

**Le rayonnement électromagnétique "radiofré- quences". Applications et risques**

(4) INSHT

**Radiaciones no ionizantes. Prevención de riesgos**  
Madrid, INSHT, 1989, 160p.

(5) IRPA/INIRC .

**Interim guidelines on limits of Exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz**

(6) KRAUS JOHN D.

**Electromagnetismo**  
México D.F. Mc Graw Hill, 1986, 852 p.

(7) O.I.T.

**Protection of workers against radiofrequency and microwave radiation: A technical review**  
Ginebra, Publicaciones de la O.I.T., 1986, 72p.

(8) O.M.S.

**Nonionizing radiation protection.** Publicaciones regionales O.M.S. Serie europea nQ 10.  
Copenhague, Michael J. Suess, 1982, 267 p.

(9) POLK CH. Poston EII.

**CRC handbook of biological effects of electromagnetic fields**  
Boca Raton, CRC Press, Inc, 1986, 503 p.