



# Documentación

## NTP 523: Radiofrecuencias y microondas (II): control de la exposición laboral

Radio frequencies and microwaves. Occupational exposure control.  
Radiofréquences et microondes. Contrôle des expositions laboral.

### Redactor:

Pablo Luna Mendaza  
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

## Introducción

De lo dicho en la **anterior Nota Técnica de Prevención** se desprende que la exposición a RF-MO, depende del valor de la densidad de potencia de las ondas en el punto de recepción o de las magnitudes E y H, (intensidades de campo eléctrico y magnético respectivamente) y del tiempo de exposición, por lo que las acciones correctoras deberán disminuir los valores de esas variables.

De las ecuaciones expuestas para la determinación de los niveles de exposición (**6 a 10 de la anterior NTP**) se puede deducir la influencia de la reducción del tiempo de exposición en el valor final de las magnitudes E, H y S.

Veamos a continuación, aquellas medidas materiales que pueden ser determinantes para reducir la exposición laboral.

## Aumento de la distancia entre el emisor y el receptor. Distancia de seguridad

La densidad de potencia (S) expresada en  $W/m^2$  en un punto situado a una distancia d expresada en metros de una antena emisora de RF-MO se puede calcular teóricamente mediante la expresión:

$$\frac{P \times Gd}{4 \times \pi \times d^2 \times At} \quad (1)$$

donde S es la densidad de potencia en un punto situado a una distancia d de la antena, P es la potencia nominal de la antena, (expresada en vatios) G d es la ganancia de la antena en la dirección (d) a la antena, y At es la atenuación debida a paramentos que puedan absorber o reflejar la radiación, situados entre la antena y el punto en cuestión. La ganancia de la antena se suele expresar en decibelios y su significado se extrae de la expresión siguiente:

$$L_g = 10 \log P_e/P \quad (2)$$

donde P e es la potencia emitida por la antena en la dirección al punto de recepción

La atenuación (también denominada efectividad del blindaje) se expresa también en decibelios de forma que,

$$L_{At} = 10 \log P_e/P_t \quad (3)$$

donde P<sub>t</sub> es la potencia transmitida a través del paramento, es decir la que realmente existe en el punto de exposición.

Para la aplicación de la ecuación (1) se debe expresar la ganancia y la atenuación de forma que:

$$G_d = 10^{\frac{L_g}{10}} = 10^{\frac{10 \log \frac{P_e}{P}}{10}} = \frac{P_e}{P}$$

$$At = 10^{\frac{L_{At}}{10}} = 10^{\frac{10 \log \frac{P_e}{P_t}}{10}} = \frac{P_e}{P_t}$$

Despejando en la expresión anterior (1) la distancia d, sustituyendo el resto de las variables por sus valores correspondientes y si el valor de S es el del límite de referencia correspondiente, se obtiene la distancia de seguridad, es decir la distancia más allá de la cual la exposición es inferior a la recomendada por el criterio de valoración.

$$d_{min} = \sqrt{\frac{P \times G_d}{4\pi \times At \times S_{ref}}} \quad (4)$$

### Ejemplo de aplicación

Una antena de potencia nominal P = 200 vatios, emite a una frecuencia de 1 GHz siendo su ganancia en una determinada dirección de 15 dB. Averiguar la distancia de seguridad suponiendo que existe un paramento que atenúa 5 dB.

La distancia de seguridad se calcula mediante la ecuación (4) teniendo en cuenta que G<sub>d</sub> = 10<sup>15/10</sup> = 31,6 y que de acuerdo con la tabla 1 para una frecuencia de 1GHz, S<sub>ref</sub> = 25 W/m<sup>2</sup>.

**Tabla 1. Valores de referencia para exposiciones de duración t ≥ 6 minutos**

FRECUENCIA (MHz)**	INTENSIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO (V/m)*	INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO (A/m)*	DENSIDAD DE POTENCIA (W/m <sup>2</sup> )*

0,01-0,038	1000	42	-
0,038-0,61	1000	1,6/f	-
0,61-10	614/f	1,6/f	-
10-400	61,4	0,16	10
400-2.000	$3,07 \cdot f^{1/2}$	$8 \cdot 10^{-3} \cdot f^{1/2}$	f/40
2.000-150.000	137	0,364	50
150.000-300.000	$0,354 \cdot f^{1/2}$	$9 \cdot 10^{-4} \cdot f^{1/2}$	$3,334 \cdot 10^{-4} \cdot f$

\*Valores RMS \*\*f en MHz

Por otra parte la atenuación será  $At = 10^{5/10} = 3,16$ , con lo que sustituyendo en (20)

$$d_{\text{MIN}} = \sqrt{\frac{200 \times 31,6}{4\pi \times 3,16 \times 25}} = 2,5 \text{ metros}$$

## Encerramientos

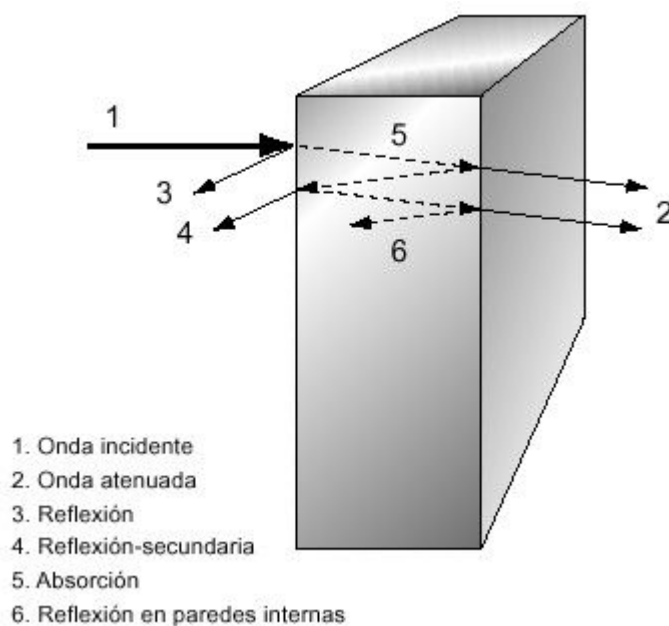
Están constituidos por “cajas” construidas con paneles metálicos que ofrezcan continuidad conductora y con toma a tierra, donde el grosor, la permeabilidad magnética, la conductividad eléctrica del metal la distancia de la pantalla a la fuente, la frecuencia de la onda son las variables que intervienen en la atenuación. El grosor teniendo en cuenta la densidad del metal, genera problemas de peso y también de coste en las instalaciones.

Por ello se usan preferentemente paneles finos (como mucho de unos pocos milímetros). En esas circunstancias los valores de las otras variables tienen gran importancia, como importancia tiene la impedancia de la onda  $Z = E/H$ . Las radiaciones de baja impedancia (predomina el campo magnético) son más difíciles de atenuar. En campo lejano, situación muy común en microondas, cuando la distancia a la fuente de emisión es mayor que  $\lambda/2\pi$  y la impedancia se considera igual a  $377\Omega$ , el valor de la atenuación se puede considerar como la suma de la absorción y reflexión que vienen dadas por las expresiones:

$$A = 1.314,3 \times t \times \left( \frac{\mu_r \times f_{\text{MHz}} \times X}{\sigma_r} \right) \text{ dB}$$

$$R = 108,1 - 10 \log \left( \frac{\mu_r \times f_{\text{MHz}} \times X}{\sigma_r} \right) \text{ dB}$$

donde A es la atenuación por absorción, R la atenuación por reflexión (figura 1), f la frecuencia en MHz, t el grosor del panel metálico en cm,  $\mu_r$  la permeabilidad magnética del metal relativa al cobre, y  $\sigma_r$  la conductividad eléctrica del metal relativa al cobre. La tabla 2 presenta valores de estas constantes para algunos metales.



**Figura 1. Comportamiento de las ondas electromagnéticas frente a una barrera metálica**

**Tabla 2. Conductividad eléctrica y Permeabilidad magnética relativas al cobre de algunos metales**

Metal	Conductividad eléctrica relativa al cobre ( $\sigma_r$ )	Permeabilidad magnética relativa al cobre ( $\mu_r$ )
Cobre	1	1
Oro	0,70	1
Aluminio	0,63	1
Zinc	0,305	1
Tungsteno	0,314	1
Estaño	0,151	1
Plomo	0,079	1
Níquel	0,23	100
Hierro	0,17	200
Acero	0,02	200

Estas expresiones representan sólo una aproximación optimista de la atenuación global (A+R), puesto que intervienen además factores como la distancia a la fuente, degradación de la atenuación por fugas etc. Para impedancias bajas y frecuencias bajas la atenuación así calculada es mucho mayor de la que se obtiene en la realidad. Por estos motivos es conveniente que los diseños sean realizados por empresas especializadas.

## Mallas metálicas

Las mallas metálicas son construidas como entramados de cable metálico de forma que el diseño tiene en cuenta el espesor del metal,  $t$  y la distancia entre los cables,  $g$  (luz de la

mall). La relación  $t/g$  es del orden de 0.05 y varía entre 0.01 y 0.1. (en tejidos metalizados se alcanza 0.5). El valor de  $g$  varía entre 0.5 mm y 5 cm. La efectividad del blindaje o atenuación  $A_t$  es debida fundamentalmente a la reflexión siendo la absorción muy baja. Como que la absorción en general depende del producto  $\sigma_r \mu_r$  y la reflexión del cociente  $\sigma_r / \mu_r$ , se buscan metales de alta conductividad y baja permeabilidad magnética.

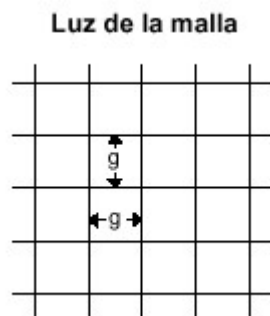
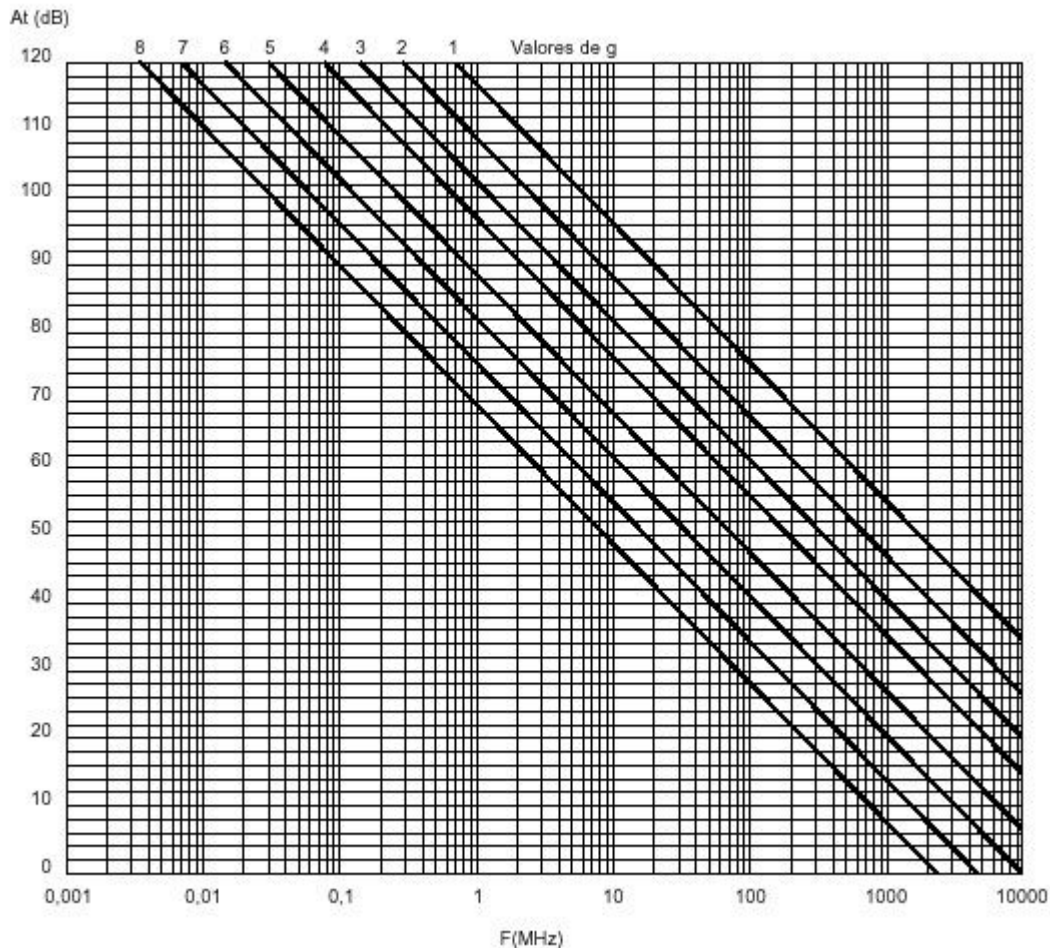
Son de aplicación en campo lejano, es decir aproximadamente cuando la distancia de la pantalla al foco es mayor de la sexta parte de la longitud de onda ( $d > \lambda/2\pi$ ) y la atenuación que puede esperarse se deduce de las expresiones:

$$A_t = 20 \log \left( \frac{\lambda/2}{g} \right) \quad (5)$$

$$A_t = 20 \log \left( \frac{c}{2g \times f} \right) \quad (6)$$

$$A_t = 20 \log \left( \frac{15.000}{g \times f_{\text{MHz}}} \right) \quad (7)$$

donde  $\lambda$  es la longitud de la onda,  $c$  la velocidad de la luz ( $3 \cdot 10^{10}$  cm/s),  $g$  el grosor del cable en cm, y  $f$  la frecuencia que expresada en MHz permite calcular la atenuación  $A_t$  a partir de la ecuación (7). En la figura 2 se expresa la dependencia de  $A_t$  respecto a  $f$ , de forma gráfica para algunos valores de  $g$ .



Luz de la malla, g	
1	0.025 cm
2	0.064 cm
3	0.127 cm
4	0.254 cm
5	0.64 cm
6	1.27 cm
7	2.54 cm
8	5.08 cm

**Figura 2. Atenuación de mallas metálicas**

### Ejemplo de aplicación

Se apantalla un emisor de microondas ( $f = 1\text{GHz}$ ), mediante una malla de aluminio de luz  $g = 0.25\text{ cm}$ . Si la densidad de potencia medida en el punto de recepción antes de la instalación de la pantalla era de  $50\text{ w/m}^2$ , deducir si se superará el valor de referencia una vez instalada la pantalla.

Según la ecuación (7) en nuestro caso tendremos una atenuación:

$$L_{At} = 20 \log \left( \frac{15.000}{g \times f_{\text{MHz}}} \right) = 20 \log \left( \frac{15.000}{0,25 \times 1.000} \right)$$

Por otra parte la atenuación se definía por

$$At = 10^{\frac{L_{At}}{10}} = 10^{\frac{10 \log \frac{P_e}{P_t}}{10}} = \frac{P_e}{P_t}$$

ya que la densidad de potencia  $S = \text{Potencia/superficie}$ ,

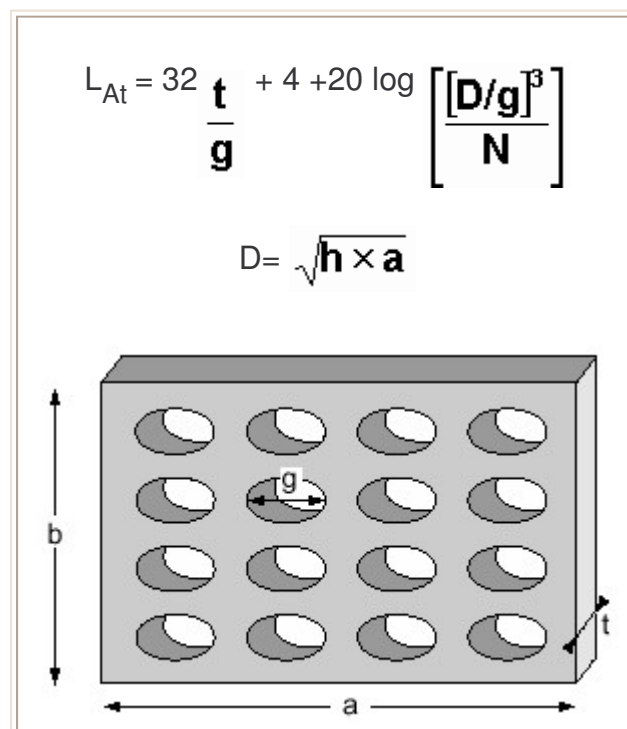
$$At = 10^{\frac{35,6}{10}} = 3.630 = \frac{P_e}{P_t} = \frac{S_e}{S_t} = \frac{50}{S_t}$$

$$S_t = \frac{50}{3.630} = 0,1 \text{ W/m}^2$$

De la tabla 1 se extrae el valor del nivel de referencia para la frecuencia de 1GHz que resulta ser de  $f/40$  ( $f$  en MHz), esto es  $25 \text{ W/m}^2$ . Así pues una vez instalada la pantalla la densidad de potencia transmitida, es decir atenuada, es mucho menor que el nivel de referencia.

## Paneles perforados

Otro diseño de pantalla es el que consiste en un panel metálico en el que se han practicado orificios (p.e ventilación) como se muestra en la figura 3.



### Figura 3. Paneles perforados

La atenuación que proporcionan se puede predecir a través de la siguiente expresión, fundamentalmente válida para predominancia de campos magnéticos:

$$L_{At} = 32 \frac{t}{g} + 4 + 20 \log \left[ \frac{[D/g]^3}{N} \right] \quad (8)$$

donde t es el grosor del panel, g es el diámetro de los orificios y D es la raíz cuadrada del producto de las dimensiones (alto, h y ancho, a) del panel

En la práctica se aconseja elegir como atenuación previsible la correspondiente al valor más bajo entre los calculados a través de las expresiones (7) y (8)

#### Ejemplo de aplicación:

Calcular la atenuación de la radiación de 27 MHz que ofrece un panel perforado de 0.5 cm de grueso y dimensiones 50 x 70 cm, si los orificios practicados tienen un diámetro de 0.6 cm y el espacio entre sus centros de 2 cm.

Para la aplicación de la ecuación (8) se tienen los siguientes datos:

$g = 0.6$  cm,  $t = 0.5$  cm,  $D = (50 \times 70)^{1/2}$ , y el número de orificios  $N = N_h \times N_a$ , siendo  $N_h$  y  $N_a$  el número de orificios en una columna y una fila respectivamente del panel que se pueden calcular,

$$N_h = (50/2) + 1 = 26 \text{ y } N_a = (70/2) + 1 = 36$$

Según la ecuación (8) :

$$\begin{aligned} L_{At} &= 32 \frac{t}{g} + 4 + 20 \log \left[ \frac{[D/g]^3}{N} \right] = \\ &= 32 \times 0,5/0,6 + 4 + 20 \log \left[ \frac{(59/0,6)^3}{936} \right] = 90,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

Mientras que según la ecuación (7)

$$L_{At} = 20 \log \left( \frac{15.000}{g \times f_{\text{MHz}}} \right) = 20 \log \left( \frac{15.000}{0,6 \times 27} \right)$$

Se tomará el menor valor de los obtenidos, esto es 59.3 dB

## Ventanas ópticas



Cuando se precisa una ventana de observación en un encerramiento o blindaje (Resonancia magnética, hornos de microondas) se utiliza material transparente laminado a una malla metálica como las mencionadas anteriormente o a una capa fina metálica.

Las primeras tienen la inestimable ventaja frente a las segundas de la alta transmisión de la luz visible. La atenuación de las mallas metálicas insertas en cristales es aproximadamente la correspondiente a la indicada en la ecuación (7) suponiendo un valor de  $g$  entre 0.25 y 0.5.

El segundo tipo de ventanas disponen de una finísima capa ( $1\mu\text{m}$ ) de un metal de alta estabilidad como el oro (potencial oxidación bajo). Una ventana de cristal con una lámina de oro de 1mm de espesor atenúa en la banda de RF-MO entre 70 y 80 dB.

## Señalización

La presencia de radiación electromagnética de RF-MO supone de forma general la existencia de un riesgo residual no cuantificable, para personas portadoras de marcapasos cardíacos.

La presencia de campos y ondas electromagnéticas puede afectar al funcionamiento de los marcapasos cardíacos, tanto por la inducción de fuerzas sobre componentes ferromagnéticos del marcapasos, como por la interferencia que las ondas electromagnéticas puedan ejercer sobre el funcionamiento eléctrico del aparato y la programación de éste. Dando por supuesto el conocimiento que se tendrá acerca de la existencia en su caso de trabajadores expuestos que sean portadores de marcapasos (situación que debe evitarse), es necesaria la información sobre la existencia de la radiación para personas sobre las que no se puede conocer esa característica individual, como es el caso de visitas ajenas a la empresa o empresas subcontratadas. La señalización de advertencia, según lo dispuesto en el **Real Decreto 485/1997** de 14 de abril sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, que en su **anexo III** muestra el pictograma de advertencia sobre la existencia de radiaciones no ionizantes o mejor aún un pictograma sobre el riesgo para portadores de marcapasos.

## Trabajadores especialmente sensibles a los riesgos

Los valores de referencia cuya adopción permite prevenir la aparición de efectos debidos a la exposición a RF-MO no están diseñados para la protección del embarazo, estados febriles, terapias con fármacos que afecten a la termorregulación o como se comentó anteriormente a portadores de marcapasos u otros dispositivos insertos cuyo funcionamiento pueda verse alterado por la interferencia de estas radiaciones. En esos casos la filosofía preventiva debe conducir a evitar la exposición.

## Recomendación general

El todavía insuficiente conocimiento acerca de los posibles efectos de las radiaciones de RF-MO, debido entre otros factores al hecho de que se masifica el uso tecnologías que implican su presencia (p.e. telefonía móvil), aconseja evitar las exposiciones innecesarias. Este principio que se justifica sobradamente en el caso de radiaciones ionizantes, puede ser aplicable en este caso, mientras se despejan las dudas que todavía existen.

## Bibliografía

- (1) COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION ELECTRIQUE  
**ENV 50166-2. “Exposiciones humanas a campos electromagnéticos de 10 kiloHercios a 300 GigaHercios”.**  
CENELEC, 1995.
- (2) GALLARDO E. et al.  
**Radiaciones no ionizantes. Prevención de Riesgos.**  
Madrid, INSHT, 1988.
- (3) KRAUS, J.  
**Electromagnetismo.**  
México D.F., ed. McGraw-Hill, 1984.
- (4) MESTRE, J  
Exposición a radiofrecuencias y microondas. (I) Evaluación  
Barcelona. INSHT. Notas Técnicas de Prevención. **NTP-234. 1989**
- (5) ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD- INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION  
**Fréquences radioélectriques et hyperfréquences**  
OMS-IRPA, 1981, Critères d’hygiène de l’environnement n° 16.
- (6) ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD  
**Nonionizing radiation protection**  
OMS, 1982, WHO Regional Publications European Series n° 10.
- (7) POLK, CH and ELLIOT, P.  
**Handbook of biological effects of electromagnetic fields**  
CRC Press, inc., 2000 Corporate Blvd. NW. Boca Ratón, Florida, 3341. (1986)
- (8) SAN MARTÍN, D.  
**Microondas y Radiofrecuencias: Generación, aplicaciones y control de riesgos.**  
Madrid, INSHT, 1989, Salud y Trabajo n° 76.
- (9) SAN MARTÍN, D.  
**Estudio sobre la aplicación de Microondas y Radiofrecuencias a la diatermia clínica.**  
Madrid, INSHT, 1996, Salud y Trabajo n° 117.
- (10) WHITE, D.  
**Electromagnetic Shielding. Materials and performance.**  
Gainesville, ed. Don White Consultants, 1988.