

MICROONDAS Y RADIOFRECUENCIAS: GENERACION, APLICACIONES Y CONTROL DE RIESGOS

Dario San Martín Ferrer
Ingeniero de Montes
CNNT de Madrid. INSHT.

El gran desarrollo experimentado durante los últimos cuarenta años en la tecnología de sistemas de comunicación, tales como radio, TV, radar, líneas telefónicas, satélites, etc., ha dado lugar a un importantísimo aumento de las radiaciones electromagnéticas producidas al generar, transmitir u operar con altas corrientes eléctricas en este tipo de instalaciones. A esta enorme cantidad de ondas que de alguna manera contaminan la superficie de nuestro planeta es lo que ha dado en llamarse (polución electromagnética).

Al igual que ha despertado interés el tema de la contaminación industrial y se estudian los problemas producidos por vertidos de productos químicos, humos y gases contaminantes, polvo en la atmósfera, etc., también empezó a tomarse conciencia, en los años cuarenta, a raíz de la Segunda Guerra Mundial, de los problemas de la «polución electromagnética» y sus posibles consecuencias para la salud.

En los años 1971 y 1973 se celebraron reuniones en las que se aprobó la creación de un programa para combatir radiaciones no ionizantes que sería llevado a cabo por un organismo internacional. Se hizo cargo el IRPA (Asociación Internacional para la Protección contra las Radiaciones). Este grupo de trabajo se convirtió más tarde en el Comité Internacional sobre Radiaciones no Ionizantes (IRPA/INIRC), París, 1977.

En 1978 se reunió en Ginebra un grupo mixto de trabajo OMS/IRPA, que estudió criterios de salud ambiental aplicables a radiofrecuencias y microondas para evaluar riesgos y considerar argumentos que justificasen la fijación de límites para las exposiciones.

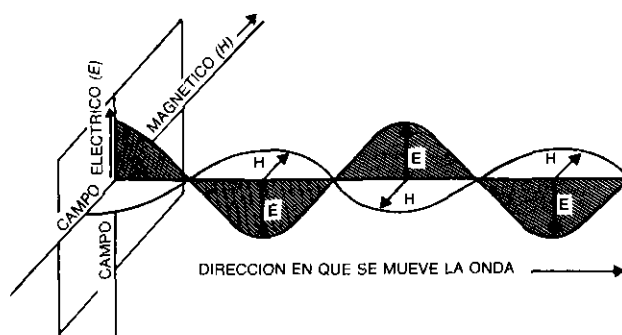
Las radiofrecuencias y microondas corresponden, dentro del espectro de radiaciones electromagnéticas, a las no ionizantes, con grandes longitudes de onda, bajas frecuencias y energía fotónica muy pequeña.

Las radiofrecuencias propiamente dichas tienen frecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 MHz, y longitudes de onda que van de los 3 km a 1 m.

Las microondas tienen frecuencias de 300 MHz a 300 GHz, y unas longitudes de onda comprendidas entre 1 m y 1 mm.

Si tenemos una corriente eléctrica en una antena y la hacemos oscilar a una cierta frecuencia, se producen un campo eléctrico y otro magnético en las proximidades de dicha antena, que se propagan desde la misma a la frecuencia de la corriente de oscilación. Si dicha frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 300 GHz, obtendremos una

radiación de microondas. Las ondas de los campos eléctricos y magnéticos son transversales, es decir, que forman ángulos rectos en la dirección de propagación.



Se propagan a la velocidad de la luz (3×10^8 m/sg en el aire) y depende del medio que atraviesa.

La velocidad disminuye y la onda se hace correlativamente más corta cuando la radiación de microondas entra en medios biológicos, especialmente cuando éstos contienen gran proporción de agua.

Las condiciones de exposición se describen de acuerdo con el concepto de «densidad de potencia» y se calcula en W/m^2 , mW/cm^2 y $\mu W/cm^2$.

No obstante, en cercanías de fuentes de microondas y radiofrecuencias con mayores longitudes de onda, los valores de intensidad de campo eléctrico (V/m) e intensidad de campo magnético (A/m) proporcionan una descripción más apropiada de la radiación.

La mayor parte de la energía de estas ondas electromagnéticas se convierte en calor. Sin embargo, no todos los efectos se explican por la absorción de energía y su conversión en calor, se ha comprobado de forma teórica y con experimentos que existen interacciones a nivel microscópico que causan alteraciones en los sistemas biológicos macromoleculares.

A las frecuencias de microondas, la radiación tiene poca energía para ionizar los átomos, pero puede excitar los estados de rotación y vibración de átomos y moléculas. La absorción de energía depende de las propiedades dieléctricas y conductoras del material.

Las antenas de microondas concentran la energía en un campo de radiación, y se define como polarización de una antena la orientación del vector del campo eléctrico en el campo radiado.

Para que haya máxima transferencia de energía, las antenas transmisoras y receptoras deben tener la misma polarización. Cuando esto no ocurre, la energía transferida depende de la polarización de cada una de ellas. Por ejemplo, si la antena transmisora tiene polarización circular y la receptora está polarizada linealmente, esta última sólo capta la mitad de la energía transmitida y, en otras combinaciones distintas que puedan darse, se deberá hacer un análisis particular de cada caso.

Dentro del espectro de RF se distinguen varias zonas a fin de estudiar los fenómenos que se producen. Así, por ejemplo, las ondas de radio son de la banda HF; la TV, las bandas UHF y VHF, etc.

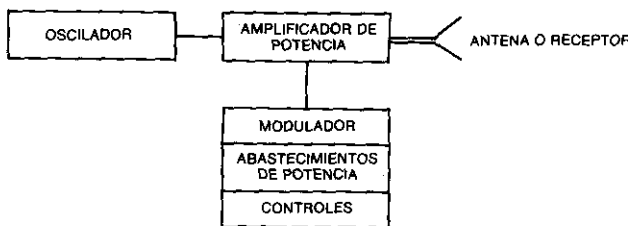
Existe una clasificación de bandas del espectro RF, que es generalmente aceptada, y cuyos límites son:

DESIGNACION DE LA BANDA	FRECUENCIA	LIMITES	
ELF	Extremadamente baja	0-3 KHz	
ULF	Muy baja	3-30 KHz	
LF	Baja	30-300 KHz	
MF	Media	300-3.000 KHz	
HF	Alta	3-30 MHz	
VHF	Muy alta	30-300 MHz	
M.W.	UHF	Ultra alta	300-3.000 MHz
	SHF	Super alta	3-30 GHz
	EHF	Extremadamente alta	30-300 GHz

GENERACION DE MICROONDAS

Un equipo, para generar radiaciones de microondas, consta esencialmente de los siguientes elementos:

Un oscilador, un amplificador de potencia con modulador y los consiguientes abastecimientos de potencia y controles; y, por último, una antena o receptor.

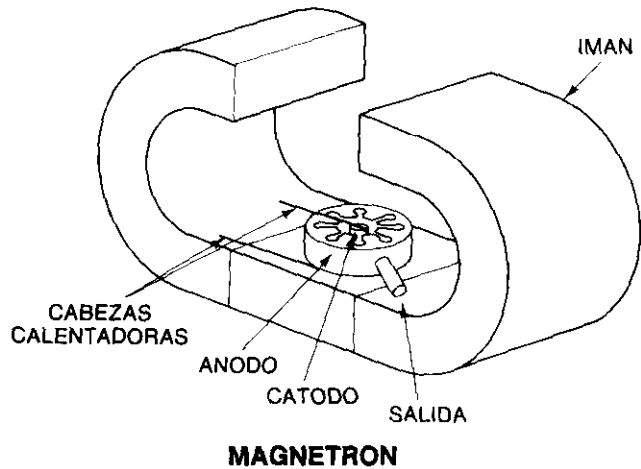


Entre los aparatos más comúnmente utilizados para la obtención de microondas se pueden citar:

EL MAGNETRON no es más que un diodo con un ánodo y un cátodo caliente rodeado de un imán.

El ánodo es una pieza de metal con pequeñas cavidades, cuyo tamaño determina la frecuencia de oscilación. Cuando

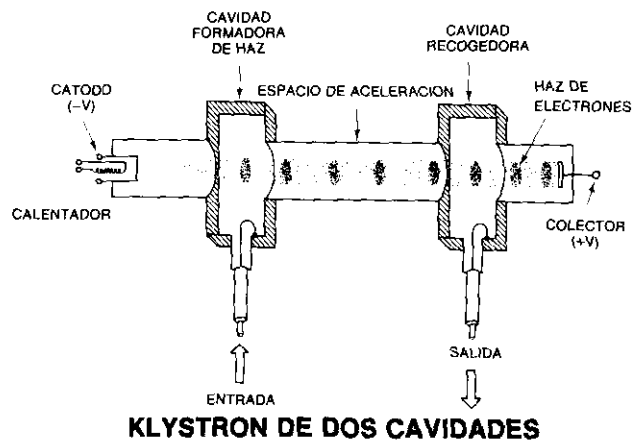
el campo magnético creado por el imán actúa, el flujo uniforme de electrones emitido por el cátodo caliente se desplaza hacia el ánodo, siguiendo trayectorias curvas que dan lugar a una serie de choques y turbulencias en las cavidades de resonancia que por tener el mismo tamaño emiten con la misma frecuencia.



La energía se libera en todas las cavidades a través de un pequeño gancho que actúa como extractor de la energía de microondas a la frecuencia de la corriente de oscilación.

El **KLYSTRON DE DOS CAVIDADES** tiene un cátodo termoiónico que emite un chorro de electrones, los cuales sufren aceleraciones y deceleraciones mediante una señal de entrada aplicada a la Cavity Formadora de Haz que provoca oscilaciones en la misma.

Este proceso da lugar a una serie de choques que proporcionan la formación de haces, aumentando su velocidad a lo largo del espacio de aceleración y, una vez excitada la cavity recogedora, alcanzan el colector formando ondas.



Una señal de entrada aplicada a la cavity formadora del haz provoca unas oscilaciones dentro de esa cavity.

Esas oscilaciones causan aceleraciones en el chorro de electrones que viaja desde el cátodo hacia el ánodo. Se puede poner un ejemplo que explique el efecto a que da lugar: si unos cuantos coches en diferentes puntos de una carretera fueran frenando y otros acelerando, los coches

rápidos terminarán chocando con los lentos, y darán lugar a espacios y haces sucediéndose en la carretera.

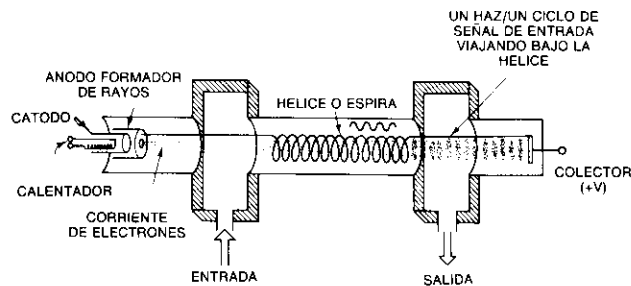
Las oscilaciones de la cavidad de haces dan lugar a haces de electrones a la frecuencia de la señal de entrada.

Los haces de electrones de velocidad modulada se mueven y entran en el espacio de impulso o aceleración. Este espacio, de hecho, es donde los electrones acelerados tienden a chocar con los retardados, dando lugar a los haces.

Los electrones pasan a la cavidad recogedora en la proporción de un haz por ciclo de la señal de entrada. Estos haces producen oscilaciones que son transferidas fuera mediante el acoplamiento de salida. Los haces, después de excitada la cavidad, alcanzan finalmente el colector formando ondas.

Una pequeña señal de entrada a una velocidad modulada da lugar a un haz de electrones tal que en la sonda del acoplamiento de salida se produce una amplificación de la señal de entrada. Por ello, el Klystron de dos cavidades se utiliza como amplificador de microondas.

A veces también se usa el **TRAVELING WAVE TUBE (TWT)**



De nuevo un cátodo termoiónico emite electrones que son acelerados hacia un potencial positivo en el colector, pero contrariamente a otros amplificadores de microondas, este tubo no alberga una cavidad de resonancia. La señal que va a ser amplificada es aplicada al conductor de ondas de entrada y viaja a lo largo de la espira, la cual es como un gran inductor en el interior del tubo.

El enrollamiento es de hecho bastante largo, y a las frecuencias de microondas, nuestra longitud de onda, como ya sabemos, es muy pequeña, así muchos ciclos de RF ocurren dentro de la longitud de la espira. Estos ciclos, pertenecientes a campos electromagnéticos, interactúan con la corriente de electrones que viaja del cátodo al ánodo.

En los puntos donde el voltaje de RF es positivo, los electrones son acelerados; donde el voltaje de RF es negativo, los electrones sufren una deceleración. De esta forma se producen haces de electrones a lo largo de todo el tubo dentro de la espira. Como estos haces de electrones se mueven hacia el colector, sus cargas inducen voltajes en la espira que se añaden a las ondas electromagnéticas de la señal de entrada de RF. Esta interacción tiene lugar a lo largo de todo el tubo, causando continuas interacciones y, como consecuencia, una amplificación.

Consecuentemente, la ganancia de un TWT es proporcional a la longitud del tubo, o más propiamente dicho, a la longitud de la espira.

En la región de las radiofrecuencias, las antenas que se utilizan son simples varillas metálicas verticales, mientras que en las frecuencias de TV, debido a necesitar la direc-

cionabilidad, la antena consiste en una varilla horizontal con una segunda que se usa como reflector. En las frecuencias de microondas, la configuración de la antena suele consistir en una sección parabólica de metal, circular, o bien rectangular, con un diámetro que suele variar entre 75 cm y 45 m.

USOS DE MICROONDAS

Las principales aplicaciones de las microondas son como fuente de calor y como fuente de transporte de información.

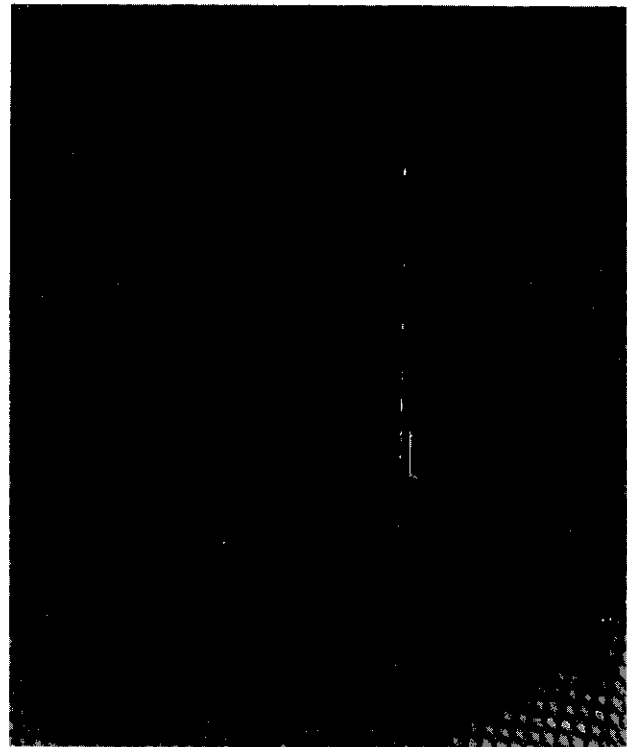
Como fuente de calor, los usos más comunes son:

Hornos de microondas, domésticos y en hostelería; secaderos de patatas, secado de papel, secado de madera, cocción de pollos, pasteurización, cerámica, soldaduras de plásticos, hornos industriales para secado de lanas, caucho, etc. También se utiliza en medicina para diatermia clínica. La principal ventaja es la rapidez de calentamiento, ya que éste se produce simultáneamente en la superficie y en el interior, pues la radiación penetra la materia que se quiere calentar.

Otra ventaja muy importante es el secado uniforme de aquellos cuerpos que tienen distintas humedades (papel, madera, etc.), ya que esta radiación aporta más energía calorífica en aquellas zonas que tienen más humedad, pues ya vimos que las microondas al pasar por zonas con más contenido de agua disminuyen su velocidad, la onda se hace correlativamente más corta y, por tanto, el aporte de energía es mayor. Así se consigue evitar el efecto de sobresecado que es muy común utilizando fuentes de calor convencionales.

Como fuente de transporte de información, los usos más frecuentes son: radio, teléfono, TV, detectores de radar, etc.

También se puede utilizar para monitores en coches de policía, controles de velocidad, alarmas antirrobo, etc.





CONTROL DEL RIESGO EN LAS RADIACIONES DE MICROONDAS

La primera norma de protección contra las microondas fue introducida en EE. UU. en 1953. Se propuso un límite de 10 mW/cm^2 para la exposición profesional continua.

Este límite, basado en el calor producido por el metabolismo basal (5 a 10 mW/cm^2), y la carga térmica adicional que el organismo humano puede tolerar fue confirmada por el ANSI en los años 1966 y 1974.

Otras fueron las consideraciones que sirvieron para fijar las primeras normas de seguridad en la Unión Soviética en 1959.

De una parte se observaron modificaciones funcionales en animales expuestos una hora a 1 mW/cm^2 , y de otra parte, observaciones hechas sobre personas expuestas profesionalmente a las microondas señalaron perturbaciones de funcionamiento de los sistemas nervioso y cardiovascular para densidades de potencia inferiores a $0,1 \text{ mW/cm}^2$. A estos valores se les aplicaron factores importantes de seguridad que daban límites extremadamente prudentes del orden de $10 \mu\text{W/cm}^2$ para una exposición profesional de ocho a diez horas al día.

Las nuevas experiencias sobre efectos biológicos de las radiofrecuencias y el mejor conocimiento de los procesos biofísicos de interacción ha animado a ciertos organismos como el Comité Internacional de Radioprotección (IRPA/I-NIRC) y el American National Standards Institute (ANSI) a proponer un nuevo sistema de límites de exposición a las radiaciones electromagnéticas de frecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz .

Para fijar estos límites de exposición hay que tener en cuenta muchos factores, tales como los físicos ligados a la radiación incidente, factores ligados a la forma de exposición y factores ligados a las características biológicas.

Desde el punto de vista de la interacción de la radiación y del organismo humano, el dominio de las radiofrecuencias se puede dividir, a grandes rasgos, en cuatro apartados:

1. La región de frecuencias inferiores a 30 MHz , en la cual no hay resonancias; la absorción de energía es superficial en el tronco, pero no a nivel de cuello o tobillos, y decrece rápidamente con la frecuencia.
2. La región de resonancias, comprendida entre 30 y 300 MHz para resonancias en todo el organismo, y alrededor de 400 MHz si se consideran resonancias a nivel de la cabeza.
La frecuencia a la cual la absorción de energía es máxima depende de la talla del sujeto, 70 MHz para una persona de $1,75 \text{ m}$; $> 100 \text{ MHz}$ par los niños. Los límites deberán fijarse a un nivel bastante bajo para que comprendan los casos desfavorables.
3. La región de «puntos calientes» entre 400 y 2.000 MHz . El porcentaje de energía absorbida decrece en $1/f$ según crece la frecuencia, pero se observan puntos calientes, es decir, regiones localizadas donde la absorción de energía es elevada.
La dimensión de estos «puntos calientes» es de varios centímetros a 915 MHz y disminuye según crece la frecuencia.
4. La región de absorción superficial a partir de 2.000 MHz , donde la elevación de temperatura está localizada principalmente en la superficie, con un efecto análogo al producido por la radiación infrarroja a frecuencias netamente superiores.

En el plan de protección contra radiofrecuencias, la introducción reciente de una nueva magnitud que permite expresar cuantitativamente el cambio de energía entre la radiación y la materia viva constituye sin ninguna duda un paso importante.

Esta magnitud, definida en inglés como Specific Absorption Rate (SAR), es la energía absorbida por unidad de tiempo y de masa y se expresa en vatios por kilogramo. En Francia se conoce generalmente bajo el nombre de Taux d'Absorption Spécifique (TAS). Sin embargo, esta denominación no es muy acertada, puesto que el término *taux* designa un porcentaje o fracción decimal que no corresponde al inglés *rate*, el cual explica una noción de tiempo. Parece, por tanto, preferible designar esta magnitud por la denominación más exacta de Debit d'Absorption Spécifique (DAS).

Este DAS puede ser calculado, y en ciertos casos medido. En la práctica, estas medidas son difíciles de efectuar, y la protección se asegura limitando los parámetros característicos del campo de radiación, que son más fácilmente medibles. Se mide, por ejemplo, la densidad de potencia en mW/cm^2 , la intensidad del campo eléctrico (E) o la del campo magnético (H) en V/m y A/m .

Cuando la distancia a la fuente es superior aproximadamente a una longitud de onda, los dos campos están en fase y la densidad de potencia es igual al producto $E \cdot H$. A una distancia suficientemente alejada de la fuente como para que pueda ser considerada puntual (condiciones de campo lejano), la fracción E/H es igual a 377 ohmios , y la densidad de potencia puede ser obtenida por la relación $E^2/377 \text{ H}^2 \times 377$.

En campo próximo, esta relación no es aplicable y se deberán determinar separadamente la intensidad del campo eléctrico y del magnético.

Los efectos biológicos producidos por las radiaciones electromagnéticas en el dominio de las radiofrecuencias han

sido objeto de un gran número de publicaciones. La literatura sobre este tema ha sido analizada y evaluada por el IRPA/INIRC y por el ANSI.

En el caso de exposición profesional, las recomendaciones hechas por los dos organismos tienen el mismo objetivo, que es limitar el (DAS) a 0,4 W/kg de media sobre el organismo, algunas diferencias de opinión sobre los factores de seguridad a adoptar hacen que se recomienden límites prácticos ligeramente diferentes.

Recomendaciones del IRPA/INIRC

Los límites presentados han sido aprobados por el Consejo Ejecutivo del IRPA en julio de 1983. Hay que hacer notar que son los primeros límites recomendados en este campo por un organismo internacional.

a) Límites de exposición para los trabajadores

A frecuencias iguales o superiores a 10 MHz, el DAS resultante de una exposición profesional no debe pasar de 0,4 W/kg, si está evaluado como media del organismo entero, y 4 W/kg si se toma como media sobre un gramo de tejido. Además, este límite debe ser respetado durante todo período de seis minutos.

El DAS no puede ser determinado por cálculo o calorimetría para deducir los límites prácticos que conviene aplicar a la intensidad de campo o a la densidad de potencia para que la energía media depositada en el organismo no pase de 0,4 W/kg. Teniendo en cuenta las variaciones de la energía absorbida según la frecuencia, estos límites prácticos variaran aproximadamente según los intervalos de frecuencia que se determinan más adelante.

A frecuencias inferiores a 10 MHz donde la energía absorbida es muy débil y decrece rápidamente con la frecuencia, los límites están basados en consideraciones diferentes, y el INIRC ha tenido particularmente en cuenta las quemaduras y choques eléctricos que el individuo puede recibir por contacto con objetos suficientemente grandes sin puesta a tierra cuando el campo es superior a 200 V/m.

Por otro lado, estando dadas las longitudes de onda correspondientes a estas frecuencias, se encuentra entonces en condiciones de campo próximo, y las intensidades efectivas de los campos eléctricos y magnéticos deberán ser determinados por separado y respetar los límites indicados.

Los límites recomendados por el INIRC para la exposición profesional se recogen en la siguiente tabla:

INTERVALOS DE FRECUENCIA MHz	CAMPO ELECTRICO V/m	CAMPO MAGNETICO A/m	DENSIDAD DE POTENCIA (Ondas planas) W/m	
0,1-1	194	0,51	100*	10*
1-10	194/f ^{1/2}	0,51/f ^{1/2}	100/f*	10/f*
10-400	61	0,16	10	1/
400-2.000	3 f ^{1/2}	0,008 f ^{1/2}	f/40	f/400
2.000-300.000	137	0,36	50	

f = frecuencia en MHz.

* = valores dados solamente a título indicativo

Estos límites se aplican a la exposición total o parcial del organismo a partir de una o varias fuerzas. Deben ser respetados como media en todo período de seis minutos durante la jornada de trabajo. No obstante, a frecuencias inferiores o iguales a 10 MHz, los límites pueden ser rebasados eventualmente a condición de que sean tomadas todas las precauciones necesarias para evitar quemaduras o choques eléctricos y que la intensidad del campo no sobrepase los 615 V/m o los 1,6 A/m.

A frecuencias superiores a 10 MHz, la derogación de estos límites estará subordinada a que el DAS sea inferior a 0,4 W/kg de media sobre todo el organismo y a 4 W/kg como media por gramo de tejido.

Dado que se dispone de muy pocas informaciones sobre efectos asociados a impulsos de potencia elevada, se recomienda que los valores de cresta instantáneos de campos pulsados, no sobrepasen 100 veces los límites indicados.

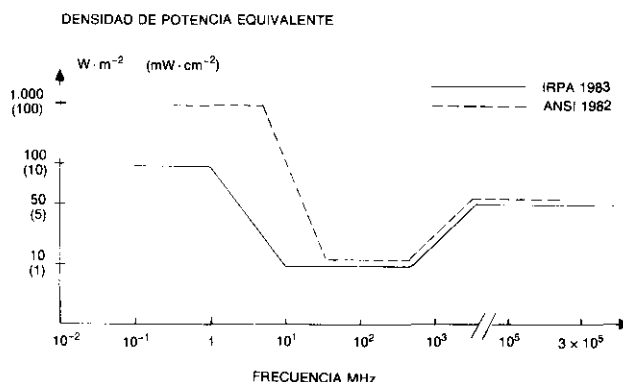
b) Límites de exposición para público en general

Para la exposición del público en general se ha incorporado un factor adicional de seguridad igual a cinco sobre los límites fijados para los trabajadores, a fin de tener en cuenta la posible presencia de individuos más sensibles a las radiaciones y que este público pueda estar expuesto veinticuatro horas al día durante períodos prolongados.

Normas de protección del ANSI

Las normas de protección recomendadas por el ANSI para la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia comprendida entre 300 KHz y 100 GHz están expresadas por el cuadrado de la intensidad del campo eléctrico (E²) y el cuadrado de la intensidad del campo magnético (H²), así como la densidad de potencia equivalente.

Las normas de protección dadas por el ANSI en 1982 son semejantes a las dadas por el IRPA en 1983 con las siguientes diferencias:



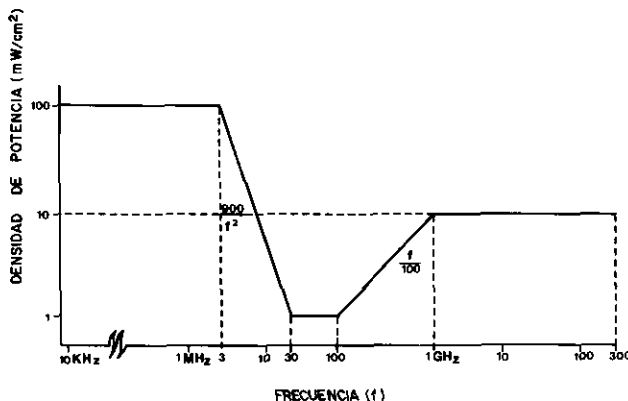
- Para frecuencias inferiores a 30 MHz, los límites del ANSI son netamente más elevados. A intensidades de campo próximas a estos valores existen ciertos riesgos de quemaduras y choques eléctricos y convendrá que los objetos metálicos suficientemente grandes sean eliminados, puestos a tierra o manejados con guantes aislantes.

- Entre 300 MHz y 2.000 MHz, los límites de exposición recomendados por el INIRC son un poco más bajos porque tiene en cuenta un pico de resonancia hacia los 350 MHz, que ha sido confirmado recientemente.
- El límite adoptado por el ANSI para el DAS evaluado como media para cada gramo de tejido es de 8 W/kg.
- El ANSI no recomienda factor suplementario de seguridad para la exposición del público en general.

Por último, vamos a ver el valor de los TLV's dados por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists):

Estos valores dados para las radiaciones con frecuencias comprendidas entre 10 KHz y 300 GHz representan las condiciones bajo las cuales los trabajadores pueden estar repetidamente expuestos sin efectos adversos para su salud.

Dichos valores (dados en densidad de potencia), según las distintas frecuencias de cada radiación, son los consignados en el siguiente gráfico:



TLV'S PARA R.F Y MO EN EL PUESTO DE TRABAJO

Según este gráfico, se puede observar que las radiaciones de frecuencias comprendidas entre 30 y 100 MHz son, en teoría, las más peligrosas, al tener un límite de densidad de potencia de 1 mW/cm².

Las microondas, como ya vimos anteriormente, estaban comprendidas entre frecuencias de 300 MHz y 300 GHz. Luego, para la mayor parte de radiaciones de microondas que vayamos a medir, con un equipo semejante al de la fotografía, el TLV que no se debe sobrepasar para que dichas radiaciones no resulten peligrosas para la salud de los trabajadores, será de 10 mW/cm².

Para terminar con el control de riesgos en este tipo de radiaciones, vamos a ver unos sencillos cálculos encaminados a determinar las distancias de seguridad para radiaciones con distintas densidades de potencia.

La intensidad del campo puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$W_t = \frac{P_t G_t}{4 \pi D^2}, \text{ siendo}$$

- W_t = Densidad de potencia del campo en W/cm².
- P_t = Potencia media transmisora en W.
- G_t = Ganancia de potencia de la antena.
- D = Distancia a la antena en cm.

Otros métodos que permite calcular la distancia de seguridad es mediante la ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{0,08 P_t G_t}{P \text{ (W/m}^2\text{)}}, \text{ siendo}$$

- d = Distancia en m.
- P_t = Potencia media de entrada en W.
- G_t = Relación de ganancia de potencia de la antena.
- P = Densidad de potencia en W/m².

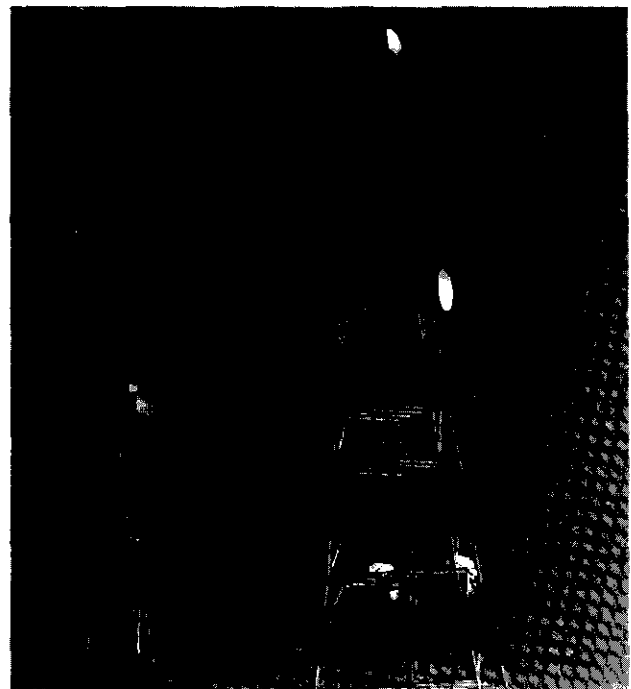
Sustituyendo en la ecuación el valor de seguridad de 10 mW/cm² y transformando unidades, la expresión simplificada quedaría:

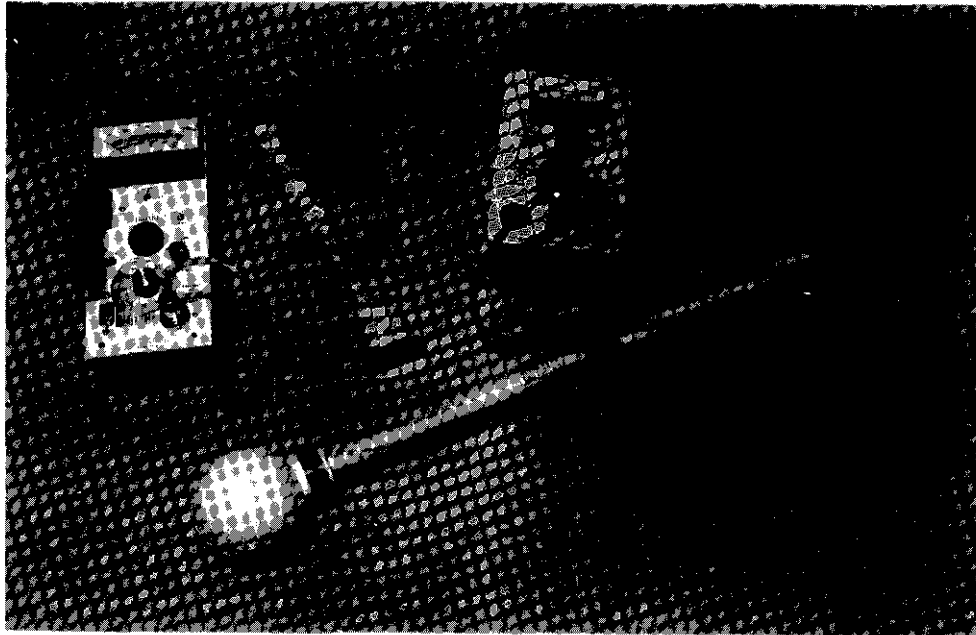
$$d = \sqrt{\frac{0,000008 G_t P_t}{P \text{ (W/cm}^2\text{)}}} = \sqrt{0,0008 G_t P_t} \text{ metros}$$

Aunque las antenas vienen de fábrica con una ganancia conocida, ésta se puede calcular por la expresión:

$$G_t = \frac{4 \pi A}{\lambda^2}, \text{ siendo}$$

- A = Área efectiva de la sección de la antena en cm².
- λ = Longitud de onda en cm de la radiación de microondas.





Aparatos medidores de radiaciones no ionizantes

PROTECCION FRENTE A LAS RADIACIONES DE MICROONDAS

Para proteger a las personas se pueden construir habitaciones protegidas. Tienen paredes con dos láminas de madera contrachapada entre láminas de metal. Todas las aberturas están apantalladas para absorber cualquier radiación que pueda ser reflejada.

Cuando no se puede utilizar este sistema se han de atenuar los niveles de densidad de potencia mediante un adecuado apantallamiento.

Estos apantallamientos consisten en mallas metálicas de distinto número de hilos por cm^2 , ventanas de cristal, revestimientos de madera, bloques de hormigón, etc.

Existen tablas de doble entrada que, según la frecuencia de la radiación y el número de hilos por cm^2 , nos dan el factor de atenuación de un determinado apantallamiento.

También se puede proteger a los individuos mediante trajes absorbentes y protectores de ojos.

Existen pocas gafas protectoras en el mercado que utilizan una malla muy fina embutida en el cristal y materiales

absorbentes en los costados. La visión queda poco afectada y se consiguen atenuaciones importantes para radiaciones de hasta 40 GHz. Tienen el gran inconveniente de ser voluminosas e incómodas.

Los trajes absorbentes reducen los campos de altos niveles y a la vez sirven como protección al alto voltaje. El operario puede estar seguro con ellos en campos electromagnéticos con una densidad de potencia de hasta 10.000 veces mayor que el límite de seguridad. Esto representaría unos 100 W/cm^2 .

BIBLIOGRAFIA

- *Criterios de Salud Ambiental*, 16. *Radiofrecuencias y Microondas*. OMS núm. 468, 1984.
- *Microwave Principles and Systems*. NIGEL P. COOK.
- *Microwave processing and engineering*. R. V. DECAREU and R. A. PETERSON.
- *TLV's Threshold limit Values and Biological Exposure Indices*. A. C. G. . I. H.