

Prevención de riesgos producidos por electrosmog

JUAN MANUEL OLIVERAS SEVILLA

Las perturbaciones producidas por los campos electromagnéticos de baja energía de los aparatos eléctricos pueden tener efecto nocivo sobre el organismo humano

Una nueva palabra se está empezando a utilizar en nuestro entorno: electrosmog. Éste es un neologismo que se ha unido a nuestra lengua recientemente. Pero ¿qué quiere decir exactamente este nuevo anglicismo? El electrosmog es un fenómeno que se produce como consecuencia de encontrarnos inmersos en campos de radiación electromagnética de baja energía, que nuestros órganos sensoriales en principio no son capaces de detectar. En principio tratar el tema del electrosmog no parece tarea fácil. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que a menudo es posible conseguir una reducción aceptable de la carga de electrosmog con medidas simples de prevención.

A la pregunta ¿es realmente necesario protegerse contra el electrosmog? podríamos decir que es un tema actualmente muy discutido. Los efectos nocivos de las radiaciones electromagnéticas no están claramente demostrados, pero tampoco está demostrado que sean inofensivos. Empero bajo una óptica de la prevención no estaría de más conseguir protegernos de forma apropiada. Haciendo honor al dicho de que *más vale prevenir que curar*; con el agravante de que las curas en tejidos dañados por estas energías son de difícil solución si no

imposibles en la mayoría de los casos. Una cosa que nos puede ayudar es un punto débil de los campos electromagnéticos cual es el que su intensidad disminuye rápidamente a medida que nos alejamos de la fuente emisora

Tipos de radiación

Dos son los tipos de radiación que podemos clasificar desde el punto de vista de la prevención. Las radiaciones de baja frecuencia y las radiaciones de alta frecuencia. Las radiaciones de baja frecuencia se encuentran en cada casa, pues cada línea de corriente usual, enchufes y todo el cableado que dispone la vivienda para la circulación de corriente emiten electrosmog.

Todos los receptores de energía eléctrica, como lámparas, electrodomésticos, radiodespertadores, así como los enchufes y las líneas eléctricas que los alimentan, producen campos magnéticos de baja frecuencia incluso estando apagados. Son, por tanto, una fuente de electrosmog en nuestra propia vivienda.

Las radiaciones de alta frecuencia (AF) se caracterizan por tener un mayor radio de acción y por una mayor rapidez de la extensión de las ondas. Estas radiaciones son las usadas principalmente por las emisoras de radiotelefonía móvil, emiso-

ras de televisión y radio, radares, teléfonos inalámbricos, equipos vigilabebes y también en algunos electrodomésticos como es el caso de las microondas.

El rango de frecuencias utilizado llega hasta los gigahercios, de forma que para estas frecuencias elevadas los campos eléctrico y magnético se funden en una sola onda electromagnética que se transmite por el espacio alcanzando grandes distancias.

Las radiaciones electromagnéticas creadas por el hombre, como consecuencia del avance tecnológico tanto en radio, TV, radar, líneas telefónicas, líneas eléctricas, hornos industriales, telefonía móvil etcétera, según su potencia y frecuencia, pueden resultar peligrosas en determinadas circunstancias, ya que, de acuerdo con los conocimientos actuales, la radiación electromagnética tiene una doble naturaleza ondulatoria y corpuscular. Y esto se pone de manifiesto al transmitirse por el espacio en forma de onda. Empero su energía, en lugar de estar distribuida uniformemente por toda la onda, se concentra en pequeños paquetes llamados *cuantos de energía*

Esta energía, constituida por paquetes elementales llamados fotones, puede ser depositada en los objetos irradiados dando lugar, según las características de



AGEFOTOSTOCK

las ondas, a fenómenos de ionización, excitación molecular, polarización, calentamiento iluminación, etc.

Los siguientes síntomas pueden indicar que un determinado lugar se encuentra expuesto a campos electromagnéticos intensos:

1. Insomnio, pesadillas, resistencia para quedarse dormido.
2. Cansancio crónico, falta de apetito, malhumor.
3. Depresión.
4. Calambres.

Según la ecuación $E = h \cdot f$ la energía es proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética. Siendo h la constante de Planck.

Dada la clasificación fundamental de las radiaciones electromagnéticas en ionizantes y no ionizantes, son precisamente estas últimas, las no ionizantes, que no tienen la energía suficiente para ionizar la materia, las que contribuyen al fenómeno del electrosmog con distintos tipos de radiaciones, entre las que podemos distinguir los campos estáticos, radiaciones de baja frecuencia, radiofrecuencias y microondas.

Una de las primeras radiaciones que nos encontramos a frecuencia cero es la correspondiente a los campos magnéticos estáticos. Al ser de frecuencia cero,

el aporte de energía según la ecuación anterior, es nulo. No obstante, pueden crearse campos magnéticos fuertes que induzcan efectos debidos a sus características y propiedades. Su efecto está representado en la *figura 1*.

La intensidad del campo magnético H se expresa en amperio por metro A/m . Mientras que la inducción magnética B se expresa en tesla T ; Se cumple que: $1 T \equiv 800 kA/m$.

Si el campo magnético estático sobrepasa el valor límite establecido de 2 teslas, existe la posibilidad de que se produzcan vértigos o náuseas y efectos nocivos para la salud como resultado de arritmias cardíacas, alteración de la capacidad mental y la posible inducción de campos eléctricos a través de los vasos sanguíneos.

Con la utilización de voltajes cada vez más elevados, en particular en las líneas de transmisión de energía eléctrica, ha crecido la implicación de estos campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja en el fenómeno del electrosmog. Además de las líneas de alta tensión y subestaciones eléctricas, otras fuentes importantes de radiación de baja frecuencia son los tendidos eléctricos ferroviarios, hornos eléctricos, la soldadura eléctrica y las células electrolíti-

cas. En particular, en el caso de las células electrolíticas, las intensidades de corriente utilizadas son bastante elevadas, del orden de 100 kA en corriente continua, por lo que su incidencia será sólo del campo magnético producido. Otras fuentes de uso doméstico como los secadores de pelo, aspiradoras, máquinas de afeitar eléctricas, etc.

Según predominen en el sistema las cargas o las corrientes tendremos un campo eléctrico predominante o un campo magnético predominante. En España el voltaje más común en líneas de transmisión es 440 kV de corriente alterna trifásica.

En nuestro país, las líneas de alta tensión emiten campos electromagnéticos a la frecuencia de 50 Hz, por lo que la energía emitida será muy pequeña. Si un campo eléctrico de frecuencia muy baja actúa sobre un cuerpo cualquiera, la energía del campo sólo es suficiente para producir un desplazamiento de cargas, de suerte que las cargas positivas se desplazarán en la dirección del campo y las negativas en dirección contraria a él. A estos desplazamientos de carga se les denomina polarización electrónica. Su efecto puede ser observado en la *figura 2*.

El valor del campo eléctrico E se expresa en voltio por metro V/m .



Figura 1. Efecto de campo magnético de baja frecuencia.



Figura 2. Efecto de un campo eléctrico.

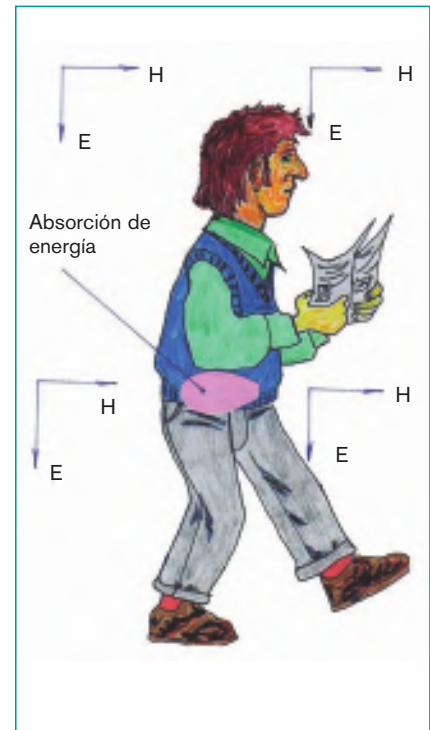


Figura 3. Efecto del campo electromagnético.

A frecuencias más elevadas entre los 100 kHz y los 300 MHz tenemos las radiaciones de radiofrecuencia y entre 300 MHz y 300 GHz las radiaciones de microondas. Ambas, tanto las radiofrecuencias como las microondas, tienen mucha similitud en cuanto a características físicas y fuentes de exposición. Existen numerosas fuentes de radiación de radiofrecuencia y microondas entre las que se encuentran los hornos industriales para secado, los hornos domésticos para preparación y calentamiento de alimentos, microondas, equipos de diatermia clínica, radio, televisión, radar, teléfonos móviles, controles de velocidad...

Al tener frecuencias más elevadas, llegan a tener la energía suficiente para producir la conversión de energía electromagnética en energía térmica por excitación de los estados de rotación y vibración de átomos y moléculas. Su efecto se observa en la *figura 3*.

La densidad de potencia (D_p) se expresa en vatios por metro cuadrado W/m^2 . O también en milivatios por centímetro cuadrado mW/cm^2 .

La energía absorbida por el organismo viene expresada en vatios por kilogramo de masa y está indicado por el SAR (Specific Absorption Rate), siendo críticos valores superiores a $4 W/kg$.

Estas radiaciones se originan principalmente en las antenas, de modo que en las proximidades de una antena se pro-

duce un campo eléctrico y otro magnético transversales, que se propagan desde la misma a la velocidad de la luz. Empero cuando la radiación entra en medios biológicos con gran cantidad de agua, su velocidad disminuye al igual que su longitud de onda, aumentando la frecuencia y por tanto la energía. Esta energía absorbida puede convertirse en otras formas de energía y causar interferencias en el organismo. Lo más común es que la energía se transforme en calor. Empero investigaciones científicas han demostrado la existencia de interacciones a nivel microscópico que causan alteraciones en los organismos y se cree que dichas alteraciones dependen de la frecuencia de resonancia.

La absorción de la energía por parte del organismo dependerá de sus propiedades dieléctricas y conductoras del mismo. Las exposiciones de densidad de potencia mayores de $10 mW/cm^2$ serán capaces de producir un aumento de la temperatura corporal, siendo las regiones con menor vascularización, como los ojos y testículos, los más susceptibles al daño térmico considerándolos por tal motivo como órganos diana para estos tipos de radiaciones.

Existen numerosos estudios que señalan efectos sobre el sistema nervioso, el sistema cardiovascular, y efectos oculares entre los que cabe señalar la aparición de cefaleas, fatiga, mareos, insomnio, sudoración, taquicardias, alteración

de la tensión arterial, cataratas, alteraciones en la retina y un largo etcétera.

Exposiciones a múltiples frecuencias

En la práctica suelen presentarse lugares en donde se produce la exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias, con la posibilidad de que se sumen los efectos de cada tipo de exposición.

Teorías básicas aplicadas en electromagnetismo

Muchas son las técnicas numéricas empleadas en electromagnetismo. Dependiendo de la región donde se tenga que solucionar el problema, hablaremos de problemas interiores para recintos cerrados y de problemas exteriores para recintos abiertos. En función de las propiedades constitutivas del medio, como permeabilidad magnética, permisividad dieléctrica, conductividad, etc., hablaremos de un medio lineal o no lineal, homogéneo o inhomogéneo, isotrópico o no isotrópico.

Numerosas son las técnicas empleadas en la solución de problemas de campo, entre los que cabe destacar los métodos experimentales, métodos analíticos con soluciones exactas y métodos numéricos con soluciones aproximadas.

Métodos analíticos

Entre ellos se destacan la expansión de series, mapeo conforme, separación de variables, soluciones integrales y método de perturbación.

Métodos numéricos

Entre los numéricos podemos destacar el método de Monte Carlo, método de diferencias finitas, método de los momentos, métodos variacionales, método de elementos finitos, modelamiento de líneas de transmisión, y el método de líneas.

Las distintas técnicas numéricas se pueden clasificar en tres grandes grupos:

1. Técnicas locales.
2. Técnicas globales.
3. Técnicas asintóticas.

Empero cada una de estas técnicas presentan sus ventajas y sus inconvenientes, de suerte que en muchas ocasiones se utilizan varias técnicas a la vez con el objeto de aprovechar las ventajas de distintas técnicas a la vez, dando lugar a la formulación de técnicas híbridas.

Las técnicas numéricas locales se basan en resolver una ecuación diferencial parcial y se las conoce por las siglas PDE. Otras utilizan diferencias finitas FD, como la técnica FDTD, método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo. Y por último tenemos el método de elementos finitos FEM.

Se suelen aplicar en problemas de máquinas eléctricas, guías de ondas, y en problemas de absorción de radiación electromagnética en cuerpos biológicos entre otras aplicaciones.

Las técnicas numéricas globales se basan en resolver una ecuación integral, dando lugar al método de los momentos MoM, o al método de elementos de frontera BEM. Con estas técnicas se puede estudiar mejor la radiación en el espacio libre debida a antenas, así como la absorción de ondas electromagnéticas en el cuerpo humano, con mucha mayor precisión que con las técnicas locales.

Las técnicas asintóticas se denominan también técnicas de alta frecuencia. Se caracterizan por utilizar los conceptos de incidencia, reflexión y difracción en el modelo de rayos, utilizando la óptica geométrica, y las teorías de geometría de difracción GTD, además de la teoría uniforme de la difracción UTD. Con ella se pueden realizar modelos de propagación en ambientes interiores y urbanos.

En la práctica se pueden combinar dos o más técnicas pertenecientes a distintos grupos con el fin de aprovechar las ventajas que cada una tiene por separado. Pues dado que cada problema en electromagnetismo tiene sus propias características, no existe un solo método que pueda manejar todos los casos. Esto explica el porqué se utilizan técnicas com-

binadas o híbridas como: FEM-BEM, FDTD-MoM, FEM-MoM, UTD-MoM, etc. Por ejemplo con la técnica numérica híbrida FEM/BEM aplicada al cálculo de campos electromagnéticos se pueden resolver situaciones de radiación de antenas en la vecindad de regiones inhomogéneas, obteniéndose geometrías de campo en dos y tres dimensiones.

Teoría de Kaden para el apantallamiento

El doctor Heinrich von Kaden formuló en 1959 su teoría sobre el apantallamiento en la que se define un factor de apantallamiento S dado por:

$$S = B_{\text{interior}} / B_{\text{exterior}}$$

Siendo $B_{\text{exterior}}/B_{\text{interior}}$ la relación existente entre la inducción de campo exterior e interior al apantallamiento.

Esta teoría se puede utilizar como referencia para resolver problemas prácticos de apantallamiento en lugar de sofisticados métodos de cálculo numérico que no dan buen resultado en la práctica bien sean locales, globales o híbridos.

Básicamente la teoría de Kaden considera el problema del apantallamiento como un apartado especializado del electromagnetismo, siendo útil en aquellos problemas reales en donde se presentan estructuras de campo inhomogéneas como ocurre en las estaciones de transformación donde no es posible obtener ninguna solución exacta al problema del apantallamiento con la utilización de métodos numéricos tales como FDTD o técnicas híbridas como FEM/BEM cuyos resultados están muy bien para las predicciones teóricas pero no para los problemas que a menudo se presentan en la práctica.

Los valores del apantallamiento expresados en decibelios vendrán expresados:

$$A_s = 20 \log S$$

Los valores de A_s oscilan entre 0 y 120 dB. Para apantallamientos de construcción sencilla, tendremos un valor de S , o lo que es igual, un amortiguamiento de la fuente de campo apantallado comprendido entre 10 y 30 dB. Un apantallamiento entre los 30 y los 60 decibelios requiere un mayor apantallamiento de construcción más esmerada. De suerte que los apantallamientos más elevados se encuentran comprendidos entre los 90 y los 120 dB. Los 120 dB de apantallamiento

representan la frontera demostrada del estado de la técnica actual, no pudiéndose superar actualmente en la práctica.

En la práctica real se producen estructuras de campo no homogéneas que imposibilitan el cálculo exacto de los apantallamientos con el empleo de técnicas FDTD como el método FEM/BEM que si bien tienen muchas posibilidades teóricas, no las tienen tanto en las soluciones que se necesitan diariamente en la práctica.

En apantallamientos de campos magnéticos estáticos o de muy baja frecuencia se emplean materiales con elevada permeabilidad magnética cuyas características se tienen en la *figura 4*. Uno de estos materiales es el Mumetall marca ésta registrada por Allegheny Ludlum Steel Corporation. Esta aleación con 75% de níquel, 18% de hierro, 5% de cobre y 2% de cromo posee propiedades magnéticas especiales y una histéresis muy pequeña, siendo muy útil como material para blindajes contra campos magnéticos parásitos conocidos como *stray magnetic fields*.

El apantallamiento frente a campos de muy baja frecuencia con materiales de elevada permeabilidad relativa es muy efectivo; basta considerar el ejemplo presentado en la *figura 5*, constituido por un apantallamiento realizado con Mumetall de μ_r igual a 40.000

El campo magnético exterior H_1 se descompone en dos componentes, una normal y otra tangencial a la superficie de apantallamiento. En ese mismo punto el campo magnético en la superficie del apantallamiento de Mumetall el campo H_2 se descompone también en sus dos componentes, una tangencial y otra normal. Cumpliéndose que:

$$H_{n2} = H_{n1} \mu_{r1}/\mu_{r2}$$

$$H_{t2} = H_{t1}$$

Donde:

$\mu_{r1} = 1$ es la permeabilidad relativa del aire.

$\mu_{r2} = 40.000$ es la permeabilidad relativa del Mumetall.

Por lo que fácilmente se comprende que la componente normal H_{n2} , que es la que penetra en el blindaje de Mumetall, quede muy reducida pues:

$$H_{n2} = H_{n1} \mu_{r1}/\mu_{r2} = H_{n1}/40.000$$

Resumiendo la teoría de Kaden si d es el grosor del material con que se realiza el apantallamiento y R el radio de la zona apantallada en metros, se cumple para

Material	Resistividad	$\mu_{r\text{mínima}}$	$\mu_{r\text{máxima}}$
Cobre	0,0172	1	1
Aluminio	0,0286	1	1
Hierro	0,098	65	2.000
MUMETALL	0,55	30.000	70.000
VACOPERM	0,6	50.000	130.000
VITROVAC	1,35	25.000	100.000

Figura 4. Relación de materiales.

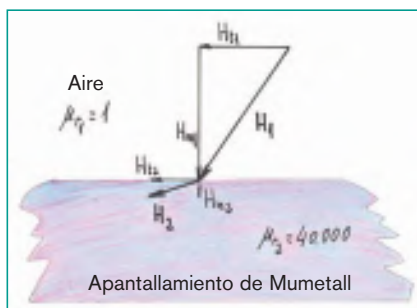


Figura 5. Efecto del apantallamiento.

apantallamientos realizados con materiales de alta permeabilidad con $\mu_r \gg 1$

$$S_{\text{stat}} \approx 1 + 1,333 * \mu_r * d / R$$

Siendo S_{stat} el factor de apantallamiento para campos estáticos de frecuencia cero.

Esta expresión sólo es válida si se cumple que $d < 2 \text{ mm}$, y al mismo tiempo $d \leq \delta$. Para campos variables con el tiempo se produce una penetración de las radiaciones en el cuerpo del blindaje cuyo valor expresado en milímetros viene dado por δ .

La penetración δ en un blindaje electromagnético viene dada por:

$$\delta^2 = (2 * \rho) / (\omega * \mu)$$

Siendo:

ρ = resistividad del material de apantallamiento.

$$\omega = 2 \pi f$$

$$\mu = \mu_r * \mu_0$$

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

Para un apantallamiento frente a campos electromagnéticos variables con el tiempo realizado con materiales no ferromagnéticos con $\mu_r \approx 1$. Como el cobre o el aluminio.

Y con $d < \delta$

Se cumple para una geometría cilíndrica de radio R

$$S_{\text{dinámica-cilindro}} \approx 0,999 * R * d / \delta^2$$

Para una simetría esférica de radio R se cumple:

$$S_{\text{dinámico-esfera}} \approx 0,666 * R * d / \delta^2$$

Estas expresiones sólo son válidas si se cumple que $d < 21 \text{ mm}$

La teoría formulada por Heinrich von Kaden propone que ante un problema de blindaje ante radiaciones magnéticas, eléctricas o electromagnéticas, en el que sea prioritario determinar cuál es el mejor apantallamiento a utilizar, determinaríamos los dos factores de apantallamiento, el estático y el dinámico, según la simetría adecuada. Y a partir de ambos determinaríamos el factor de apantallamiento total S_{total} de acuerdo a la expresión:

$$S_{\text{total}}^2 = S_{\text{stat}}^2 + S_{\text{dinámico}}^2$$

Protección contra las radiaciones electromagnéticas

El riesgo de las radiaciones electromagnéticas depende de la frecuencia de emisión, su potencia de salida, la distancia a la fuente, el tiempo de exposición...

La manera más efectiva y sencilla de protegerse frente a todas las radiaciones es permanecer lo más lejos posible del foco de emisión, pues la radiación recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el receptor de la radiación.

Cuando este distanciamiento no sea posible, se deberá procurar que los focos de emisión tengan las protecciones necesarias para no producir fugas de radiación. Si a pesar de esto siguen apare-

ciendo radiaciones electromagnéticas de valor elevado, se deberá proteger las zonas mediante apantallamientos hechos a base de planchas metálicas, pantallas de vidrio metalizado, tabiques de mampostería con tableros de madera, etc.

Si después de todas estas medidas persisten radiaciones peligrosas, se pueden proteger las personas con prendas de protección personal adecuadas a la radiación que se quiere evitar.

Prevención frente a radiaciones de baja frecuencia

Una forma útil de proteger una determinada zona es utilizar un apantallamiento en forma de Jaula de Faraday encerrando la zona que se quiere aislar en un recinto de paredes metálicas puesto en tierra. Este método se utiliza, por ejemplo, para el apantallamiento de transformadores.

Si la fuente que queremos apantallar produce campos magnéticos es preferible utilizar un apantallamiento con materiales ferromagnéticos.

Para poder determinar cuál es el mejor tipo de apantallamiento podemos aplicar la teoría de Kaden a un ejemplo.

Supongamos que queremos apantallar un transformador que trabajando a la frecuencia de 50 Hz tiene unas dimensiones tales que podemos apantallarlo con un paralelepípedo de dimensiones $400 * 300 * 200 \text{ mm}$. Si utilizamos plancha de Mumetall de $\rho = 0,55$ y grosor $0,2 \text{ mm}$ con $\mu_r = 50.000$, obtenemos, al aplicar la teoría de Kaden, los siguientes resultados:

Profundidad de penetración $\delta = 0,236 \text{ mm}$

Asimilando el paralelepípedo a una esfera de radio $R = \sqrt{3} * (L + H + A) / 3 = 520 \text{ mm}$

$$S_{\text{stat}} = 26$$

Como se cumple que $S = B_{\text{interior}} / B_{\text{exterior}}$

$$B_{\text{exterior}} = B_{\text{interior}} / 26$$

Por lo que el apantallamiento ha reducido el campo en 26 veces como mínimo, ya que el total será mayor por la presencia de corrientes parásitas en el apantallamiento que darán lugar a la $S_{\text{dinámica}}$

De forma que se cumplirá:

$$S_{\text{total}}^2 = S_{\text{stat}}^2 + S_{\text{dinámico}}^2$$

Para realizar el blindaje o apantallamiento, con chapa de grosor inferior a

los dos milímetros, a campos magnéticos estáticos o electromagnéticos de baja frecuencia del orden de los 50 Hz, es necesario utilizar materiales magnéticos de elevada permeabilidad tales como el Mumetall, Vacoperm, Vitrovac, etcétera.

Es posible utilizar materiales no magnéticos como el cobre o el aluminio, si bien el grosor de la plancha debe ser del orden de los diez milímetros. En los metales no magnéticos de poca resistividad según la teoría de Kaden el blindaje aumenta por aumento del factor de apantallamiento gracias a la generación en las planchas del blindaje de corrientes parásitas de Foucault.

Las corrientes parásitas generadas en la masa de un conductor por variación del flujo de inducción magnética se producen en los transformadores de fuerza, relés de alterna y otros dispositivos. Son corrientes perjudiciales, pues representan pérdidas de energía y son causa de calentamiento, empero con fines de blindaje electromagnético son necesarias según la teoría de Kaden. Es decir, para tener un apantallamiento total frente a un campo magnético variable con el tiempo, todas las chapas metálicas que lo constituyen deben estar conectadas mutuamente permitiendo la circulación de corrientes de Foucault que producirán un aumento del valor del factor de apantallamiento.

Si las dimensiones del apantallamiento están en la gama de los centímetros, es indicado utilizar materiales de elevada permeabilidad magnética. Si estamos hablando de mayores dimensiones, en torno a varios metros, es mejor utilizar metales no magnéticos, aunque cuando se utilicen grosores de chapa entre 10 y 15 milímetros el coste aumenta, si bien el factor de apantallamiento también aumenta. Esta situación de aumento del coste también ocurre cuando se utilizan materiales de elevada permeabilidad con grosores típicos de 2 milímetros. Esto implica que según el factor de apantallamiento que se quiera conseguir se podrá elegir entre un tipo u otro de material con el objeto de reducir los costes. Por ejemplo, si realizamos un blindaje con aluminio pero por razones de coste de material reducimos el grosor de la chapa de 10 mm a 5 mm, el factor de apantallamiento también disminuye, disminuyendo por tanto el efecto de blindaje. Estos conceptos quedan reflejados en las gráficas correspondientes a las *figuras 6 y 7*, respectivamente.

La *figura 6* presenta el factor de apantallamiento para el blindaje realizado con

plancha de aluminio de 10 milímetros de grosor y distintas geometrías de apantallamiento: esférica, placa y cilíndrica. En la misma se observa que cuanto más aumenta el radio del recinto apantallado mayor es el factor S, por lo que estos metales serán ideales para apantallamientos grandes. Aunque como el grosor debe ser, como mínimo, de 10 milímetros o superior el coste puede suponer un inconveniente.

La *figura 7* representa el caso de un blindaje realizado con plancha de metal de alta permeabilidad tipo Mumetall con un grosor de plancha de 1 milímetro y distintas geometrías: esférica, placa, cilíndrica horizontal y cilíndrica vertical, observándose que para ciertas geometrías conforme aumenta el radio de la zona apantallada disminuye el factor de apantallamiento. Por tanto, cuando las dimensiones del apantallamiento sean pequeñas es preferible utilizar materiales como el Mumetall. Para apantallamientos más grandes su factor de apantallamiento es menor, pero como lo usual es no superar grosores de plancha superiores a los 2 milímetros, al ser su coste menor que el caso de apantallamiento con metales no magnéticos como el cobre o el aluminio, puede suponer una buena alternativa.

Prevención frente a radiaciones de alta frecuencia

En condiciones de campo lejano, es decir, cuando $D > 3 \lambda$, siendo λ la longitud de onda de la radiación, el efecto de la radiación electromagnética es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa de la fuente emisora ya que la densidad de potencia del campo emitido viene dada por la expresión:

$$\theta = P_m G_a / 4\pi D^2$$

Donde:

θ = densidad de potencia del campo en W/cm^2

P_m = potencia media transmitida en vatios (W).

G_a = ganancia de potencia de la antena emisora.

D = distancia a la antena en cm.

Por lo que la distancia de seguridad a la fuente emisora expresada en centímetros que se deberá guardar para no superar una determinada densidad de potencia (θ) tendrá la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{(P_m G_a / 4\pi \theta)}$$

Cuando este distanciamiento al foco emisor no sea posible, se utilizarán apantallamientos realizados con láminas de madera contrachapada entre láminas de metal. También el apantallamiento puede consistir en planchas metálicas o bien estar realizado con paneles de malla metálica de distinto número de hilos por centímetro cuadrado, revestimientos de madera, bloques de hormigón, etcétera.

Desde el punto de vista de la prevención en el hogar se pueden utilizar materiales de apantallamiento que algunas empresas europeas comienzan a ofertar, tales como cortinas especiales que producen un apantallamiento entre 20 y 40 decibelios para frecuencias comprendidas entre los 200 MHz y 10 GHz. Estos cortinajes pueden ser para ventanas o para camas tipo mosquitera. Algunos están realizados con tejidos a base de poliamida metalizada con plata. Otras disposiciones están pensadas para el suelo: las de tipo moqueta utilizan poliamidas metalizadas con cobre. Las paredes de la vivienda también se pueden apantallar mediante la utilización de tejidos de poliéster metalizados con aceros especiales o con cobre a modo de papel de pared. Una solución para las paredes de las viviendas suele ser la utilización de pinturas acrílicas metalizadas con partículas de algún metal noble, aunque no debemos olvidar que para un blindaje efectivo ante las radiaciones electromagnéticas es necesario una buena puesta a masa o a tierra de la superficie apantallada.

Un caso particular en el campo de las altas frecuencias lo ocupan los teléfonos móviles y sus estaciones bases y repetidoras. Para un uso seguro de los móviles se recomiendan los siguientes consejos:

1. Utilizarlos en lugares con buenas condiciones de recepción.
2. Nunca utilizarlos en entornos cerrados (garajes subterráneos, ascensores, coches).
3. Mantener en lo posible cortas conversaciones.
4. Utilizar preferentemente el dispositivo de manos libres.
5. Tener en cuenta el SAR a la hora de adquirirlos.
6. Los niños y jóvenes no deben usarlos con frecuencia.
7. A veces usar mensajes cortos tipo SMS es suficiente.
8. Preferible tecnología GSM a tecnología UMTS.

Si las condiciones de recepción no son buenas, generalmente tampoco lo serán

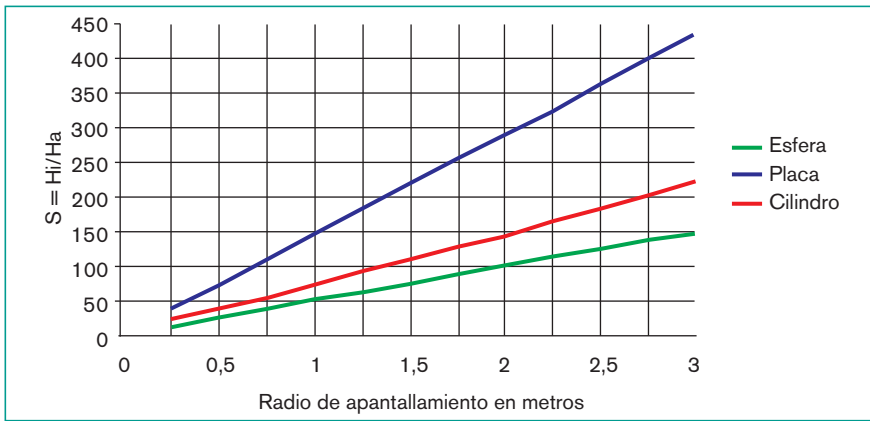


Figura 6. Factor de apantallamiento para materiales no magnéticos.

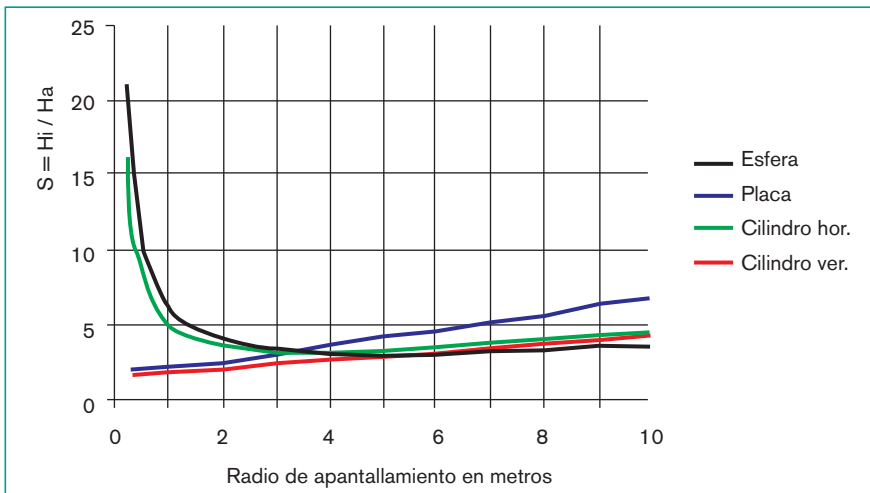


Figura 7. Factor de apantallamiento para materiales de alta permeabilidad.

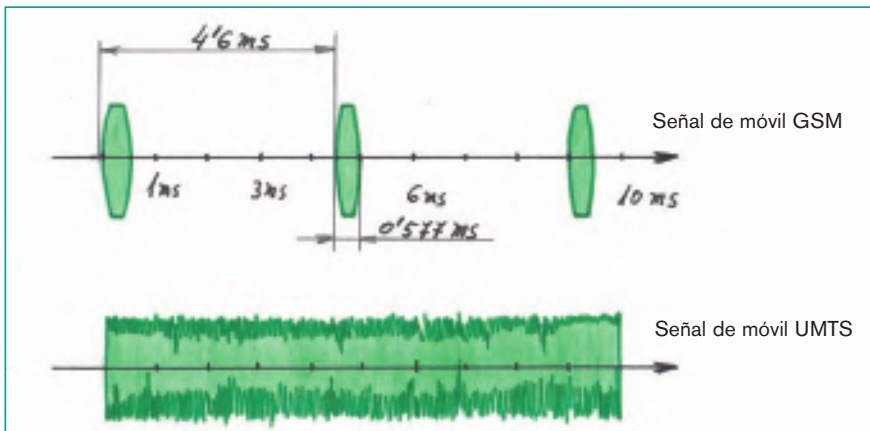


Figura 8. Tipos de señal de móviles.

las condiciones de emisión. En recintos cerrados las ondas emitidas por nuestro móvil nos rebotarán al reflejarse en las estructuras de hormigón armado de los garajes, planchas metálicas de los ascensores, y en las estructuras metálicas de nuestro automóvil. De forma que la radiación que llegue a nuestro cuerpo será la suma de la emitida por nuestro móvil más la radiación reflejada, aumen-

tando por tanto su efecto en nuestro organismo.

El estándar GSM implica que la información se transmite, en paquetes comprimidos, con una frecuencia de 217 veces por segundo. Esta transmisión en forma de pulsos disminuye los efectos térmicos de propagación en el cuerpo humano. No ocurre lo mismo con la tecnología UMTS cuya transmisión, al ser

de espectro más continuo en el tiempo, tiene mayores efectos térmicos en el organismo como nos muestra la figura 8.

La incidencia de la radiación en el organismo la podemos cuantificar a través del SAR. En el mercado se encuentran modelos que presentan un SAR de entre 0,102 W/kg y 1,94 W/kg. Pero sería aconsejable no pasar del valor de 0,6 W/kg. En el mercado europeo los modelos que presentan una SAR del orden de los 0,6 W/kg llevan el conocido distintivo de calidad "Ángel Azul" "Blauer Engel". La asignación del distintivo "Blauer Engel" para teléfonos móviles se puede consultar en Internet en la Web: www.blauer-engel.de.

El "Ángel Azul" es la etiqueta ecológica más vieja y a la vez más exitosa para productos y servicios en todo el mundo.

Un producto con la etiqueta "Der Blaue Engel" destaca por tener una menor incidencia sobre el medio ambiente y al mismo tiempo satisface las altas exigencias de protección de la salud y el trabajo y la aptitud para el uso, garantizando además el uso económico de la materia prima y los recursos naturales durante todo su ciclo vital (diseño, utilización y eliminación después de agotada su vida útil).

Las empresas pueden usar el "Ángel Azul" exclusivamente en los productos o servicios certificados y en la publicidad de los mismos. La validez de los certificados en general es de tres a cuatro años, dependiendo su actualización de los progresos científicos.

Bibliografía

- Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik. Kaden, H. Springer-Verlag, Berlin 1959.
- Sadiku Matthew. "Numerical Techniques in electromagnetics". CRC Press. 2001
- Internet
- www.elektrosmog.com
- www.blauer-engel.de

AUTORES

Juan Manuel Oliveras Sevilla

Ingeniero técnico en Electricidad con intensificación en Electrónica por la Escuela Politécnica de Cartagena. Técnico superior en Prevención de Riesgos Laborales por ENAE. Desde 1982 trabaja como técnico en la empresa Bazán de construcciones navales, actualmente Navantia.