

CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE FRECUENCIA INDUSTRIAL Y EFECTOS BIOLÓGICOS EN EL CUERPO HUMANO

Grupo *ad hoc* de Campos Electromagnéticos de Unesa

Elionor Roldán Bassas, Lic. en C. Físicas. Endesa

Hernán Cortés Soria, Lic. en Biología. Endesa

Javier Goitia Blanco, Ing. Técnico de O.P. Iberdrola

Carlos García Mayobre, Lic. Escuela Superior de la Marina Civil.
Unión Eléctrica Fenosa

Carlos Llanos Lecumberri, Lic. en C. Físicas. REDE

Juan Bernar Solano, Lic. en Medicina y Cirugía. Unesa

1.- INTRODUCCIÓN

Hasta hace poco más de 100 años, la única fuente de campo electromagnético (CEM) a la que una persona podía estar expuesta era la natural, es decir, el campo eléctrico atmosférico y magnético terrestre o los procedentes del Sol y del espacio. Posteriormente la generación y uso de la electricidad en todos los ámbitos de la vida y trabajo, la aparición de aparatos de telecomunicación (radio, televisión, telefonía móvil...), aparatos de uso industrial, nuevos métodos de transporte, etc., ha sumergido a la práctica totalidad de la población en un nuevo ambiente electromagnético, diferente del existente de forma natural, y que abarca un amplio abanico de frecuencias.

En conjunto, las investigaciones sobre efectos biológicos de los CEM han generado más de 25.000 artículos científicos (datos de la Organización Mundial de la Salud) lo que

hace que sea posiblemente el agente más estudiado en el ámbito biológico.

Si en un principio se investigaron los efectos del campo eléctrico (quizás por ser mejor conocido y porque se medía más fácilmente), actualmente, aunque con excepciones, se investigan los efectos del campo magnético. Por ello, nos centraremos más en el campo magnético, tanto desde el punto de vista dosimétrico como de efectos.

2.- MAGNITUD DE LA EXPOSICIÓN

Toda la población está expuesta a los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial (50 Hz) debido al transporte, distribución y uso de la electricidad, así como a frecuencias superiores como las de la televisión, radio, telefonía móvil, etc. Excepto las poblaciones que puedan

vivir en zonas remotas de la tierra, o que no tengan ningún contacto con la electricidad, no podemos considerar que haya gente "no expuesta".

2.1.- Exposición a campo eléctrico

Dado que la intensidad de campo eléctrico de frecuencia industrial depende fundamentalmente de la tensión o diferencia de potencial, las líneas de alta tensión son con toda probabilidad las fuentes de mayor exposición para cualquier persona. En la siguiente tabla se dan algunos valores de campo (en kilovoltios por metro, kV/m) para diferentes líneas de transporte de electricidad.

En España las líneas de mayor tensión son las de 400 kV. Un estudio realizado en varios países europeos reveló que el campo eléctrico máximo al que una persona puede estar expuesta directamente debajo de una línea de 400 kV varía entre 4 y 11 kV/m, aunque lo normal es que se sitúe entre 4 y 7 kV/m. Este campo disminuye su intensidad conforme nos alejamos de la línea, y a unos 50 m. de distancia de la línea no supera 1 kV/m.

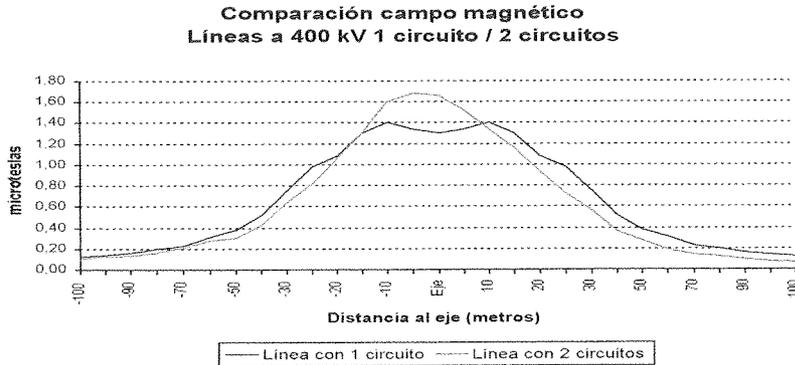
Cerca de otro tipo de instalaciones eléctricas, como pueden ser subestaciones, encontramos campos eléctricos cuyo máximo varía entre 7 y 22 kV/m.

Las paredes de una casa son una pantalla muy efectiva para el campo eléctrico; por efecto de este apantallamiento un campo eléctrico externo a una vivienda queda práctica-

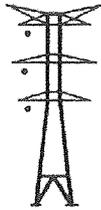
kV	Campo eléctrico máximo (kV/m)	Campo eléctrico a 25 metros (kV/m)
400	11	1
220	6	0,2
132	2	0,05

COMPARACIÓN Líneas un circuito / dos circuitos

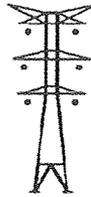
En esta gráfica se compara el nivel de campo magnético que generan dos líneas eléctricas a 400 kV que transportan una potencia similar. La de un circuito transporta 370 A y la de doble transporta 170 A por un circuito y 230 A por el otro.



Línea a 400 kV con un circuito



Línea a 400 kV con dos circuitos



kV	Campo máximo (microteslas)	Campo a 25 m (microteslas)
400	16	3
220	4	1,5
132	3	0,6

mente eliminado y, por tanto, los niveles de campo eléctrico dentro de una casa provienen del sistema eléctrico propio de la casa y de los electrodomésticos.

La intensidad de campo eléctrico en el centro de una habitación varía entre 1 y 10 V/m y, si se está cerca de algún electrodoméstico, puede alcanzar de 200 a 300 V/m.

En la siguiente tabla se dan algunos valores para campo eléctrico (medido a 30 cm) generado por aparatos de uso común.

Campo eléctrico (V/m)	
Bombilla	2
Cocina eléctrica	4
Aspiradora	16
TV color	30
Cafetera	30
Tostador	40
Secador de pelo	40

Plancha	60
Nevera	60
Equipo musical	90
Manta eléctrica	250

2.2.- Exposición a campo magnético

Mientras que la exposición máxima a un campo eléctrico se encuentra generalmente cerca de líneas de alta tensión, la máxima intensidad de densidad de flujo magnético (medida en Tesla o sus fracciones como la microtesla, μT , que es una millonésima de tesla) se encuentra cerca de aparatos que llevan o funcionan con intensidades de corriente elevadas, ya que de esto depende el nivel de campo magnético.

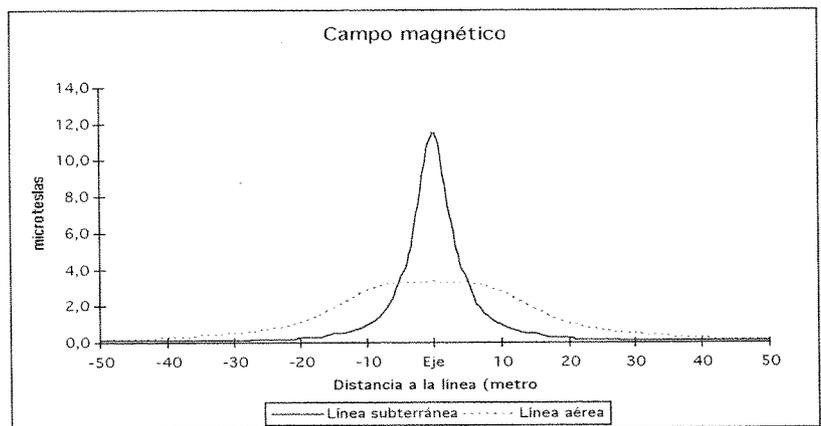
Cerca de líneas eléctricas encontramos los siguientes valores:

La disposición de los cables eléctricos y el enterramiento de las líneas tiene distintos efectos sobre los niveles de campo magnético. A continuación se muestran algunos ejemplos en distintas líneas.

En el caso de las líneas subterráneas el campo eléctrico es nulo, ya que resulta apantallado por la cubierta del cable y por la propia tierra. Sin embargo, el campo magnético en el eje de la línea es 3-6 veces superior en el caso de líneas subterráneas debido a que los conductores están más cerca del suelo que en las líneas aéreas, y el campo magnético no es apantallado por la cubierta del conductor ni por el suelo; no obstante, el campo magnético generado por una línea subterránea desciende más rápidamente

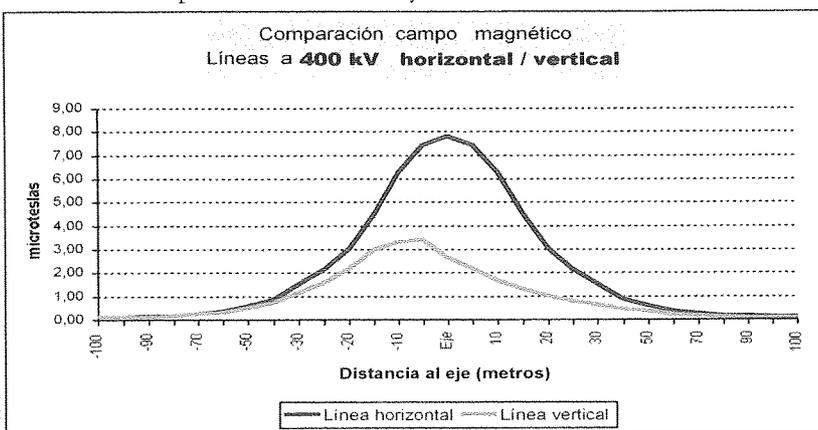
COMPARACIÓN Línea aérea / Línea subterránea

En esta gráfica se aprecia el nivel de campo magnético que generan dos líneas eléctricas a 400 kV que transportan una potencia similar, 120 A.



COMPARACIÓN Línea horizontal / Línea vertical

Por último, se ilustran las diferencias entre una línea de 400 kV con los conductores dispuestos en horizontal y en vertical.



que el de las líneas aéreas ya que, al estar los conductores situados más cerca entre sí, hay mayor cancelación entre las tres fases.

0,6 μ T en EE.UU. y entre 0,01 y 0,5 μ T en Europa (datos de Gran Bretaña).

En EE. UU., un estudio realiza-

do sobre unos mil domicilios encontró que el nivel medio de los campos magnéticos detectados era de 0,09 μ T. Un 15% de las viviendas superaba los 0,2 μ T. En Europa, el nivel medio es de 0,05 μ T, y algo menos del 5% de las viviendas supera los 0,2 μ T.

Esta diferencia se debe, entre otras razones, a que en EE.UU. se utiliza menor tensión (125 V) que en Europa por lo que se necesita el doble de intensidad para la misma potencia, lo que conlleva un aumento proporcional en la densidad de flujo de campo magnético.

"Dosis" de campo magnético en ambientes laborales

Industria	μ T	
	10 cm	1 m
Aparato		
Pantalla de alumbrado	0,05	0,05
Taladro	0,13	0,03
Sierra	0,24	0,04
Torno	0,56	0,04
Cargador de baterías	1,42	0,02
Calentador de aire	2,52	0,13
Compresor	3,18	0,05
Taladro portátil	34,56	0,89
Piedra esmeril	56,32	0,98
Maquina de soldar	564,00	78,40

Domicilio	μ T	
	10 cm	1 m
Aparato		
Frigorífico	0,06	0,02
Afeitadora	0,24	0,01
Reloj despertador	0,59	0,03
Tostadora	1,14	0,00
Secador de pelo	1,34	0,01
Televisor	1,40	0,09
Freidora	1,70	0,01
Picadora	2,84	0,04
Aspiradora	5,16	0,31
Lampara halógena	10,64	0,14
Lavadora	16,14	2,38

Exposición doméstica

En un ambiente doméstico se pueden encontrar valores más altos dependiendo de las fuentes que se consideren. En la siguiente tabla se presentan rangos de valores a diferentes distancias.

Exposición laboral

Cerca de algunos aparatos de uso industrial los niveles pueden ser bastante diferentes.

"Dosis" de campo magnético en viviendas

Normalmente, el nivel del campo magnético que existe en el interior de una vivienda varía entre 0,05 y

Hoy en día cualquier trabajo conlleva una exposición a un campo magnético en mayor o menor medida. Esta exposición es mal conocida todavía, tanto por la escasez de estudios como por la gran variabilidad encontrada entre los mismos, puesto que cada uno utiliza una forma de medir y una forma de expresar los resultados.

Posiblemente, el estudio más amplio sobre trabajadores en general fue el realizado en Suecia sobre más de 1.000 trabajadores, desde profesores, artistas y soldadores, hasta trabajadores eléctricos. Considerando a todos ellos en conjunto, la exposición media fue de 0,28 μ T con un amplio margen que iba de 0,05 a 2,48 μ T.

2.3- Reducción de la exposición a campo magnético

La intensidad de un campo magnético decrece rápidamente con la distancia por lo que la acción más inmediata y eficaz para disminuir la dosis sería el alejamiento. Esta medida no siempre es posible por lo que, en tal caso, se puede recurrir a la reducción de los campos en origen.

A veces, hay posibilidad de reducir la intensidad del campo magnético con un simple reordenamiento eléctrico o geométrico de los elementos activos o con la interposición de otros circuitos compensadores. En las gráficas de este artículo se aprecia cómo varía el campo magnético dependiendo de distintas configuraciones.

Las actuaciones posibles para reducir la exposición a los campos magnéticos generados por la red son de dos tipos: activas y pasivas.

Las primeras abordan el problema en la misma fuente, es decir, actúan sobre parámetros cuya variación reduce la intensidad del campo, tales como:

- Alejar el centro de gravedad del elemento respecto de los recep-

Esquema de sistema eléctrico.

tores potenciales (elevar o enterrar más la línea).

- Disminuir la distancia entre fases.
- Inscribir los conductores en la circunferencia de menor radio posible.
- En los sistemas con más de un circuito, combinar adecuadamente la ubicación de las distintas fases.
- Cambiar las características de la instalación (desde el número de sub-conductores, hasta un eventual soterramiento)
- Disminuir la intensidad de la corriente.
- Procurar el máximo equilibrio de cargas en las fases, algo de fácil resolución en líneas de media y alta tensión, pero muy complejo en las de BT.

• Crear pasillos en los que se introduzcan cuantas líneas sean reglamentariamente posibles con criterios de cancelación de campos.

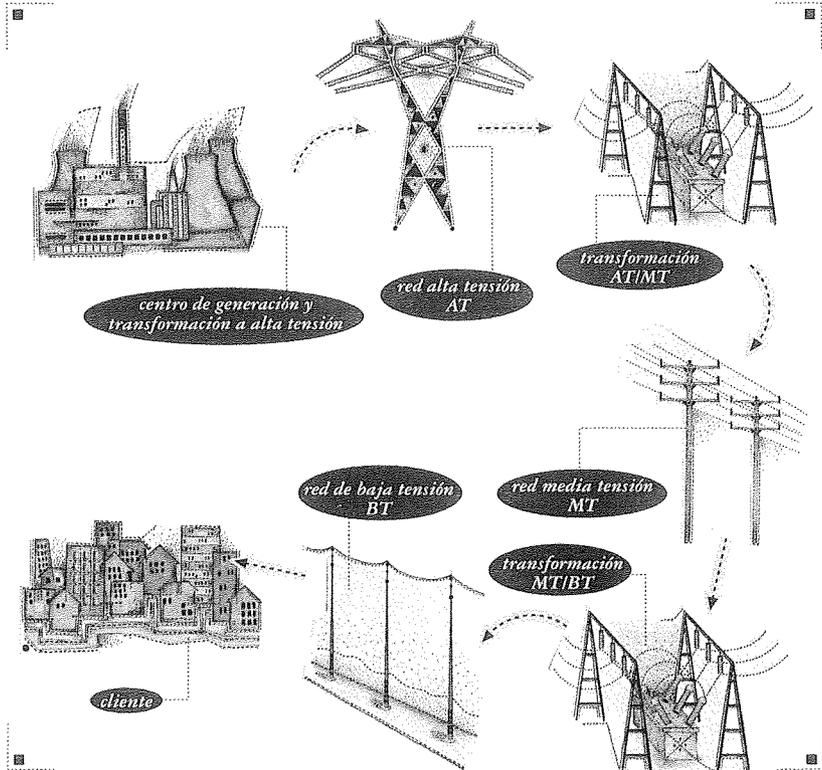
• Instalar un circuito periférico a la instalación, haciendo circular por él una corriente y una fase determinadas, en función de las condiciones de la línea para cancelar el campo.

Las técnicas de apantallamiento no eliminan el campo, sino que "modifican" su forma. Se utilizan generalmente para proteger equipos sensibles y las más habituales son de dos tipos:

- Blindaje con materiales tipo *Mumetal* y otros equivalentes, que reducen las líneas de campo magnético.
- Pantallas electromagnéticas activas (circuitos eléctricos), que crean un campo opuesto al que se desea reducir.

En el caso de los electrodomésticos, simples cambios en su diseño reducen la generación de campo magnético.

De igual manera, ciertos criterios de diseño para los cableados en la Construcción e instalaciones eléctricas de viviendas y oficinas pueden re-



ducir apreciablemente los niveles ambientales

3.- ¿CÓMO ACTÚAN LOS CEM SOBRE EL CUERPO HUMANO?

La única forma conocida de interacción entre un CEM y el cuerpo humano es mediante la **inducción de corrientes**.

Como el cuerpo humano contiene cargas eléctricas libres (sobre todo, en fluidos ricos en iones, como la sangre), la exposición a un campo eléctrico o magnético hace que éstas se muevan. De esta forma, se crean o inducen corrientes eléctricas en el interior del organismo.

Como ya se ha comentado, existe un **campo magnético terrestre natural**, estático, de aproximadamente $40 \mu\text{T}$ de intensidad. Este campo, incluso siendo estático, induce corrientes en una persona cuando ésta se mueve. Por ejemplo, girar la cabeza hacia un lado lentamente induce corrientes equivalentes a las que se inducirían si se estuviera expuesto a un campo magnético de $0,2 \mu\text{T}$. Si se mueve la cabeza hacia abajo rápidamente, en un gesto de asentimiento,

se generan corrientes equivalentes a una exposición de $2 \mu\text{T}$.

La magnitud de las corrientes inducidas por un campo magnético variable depende de muchos factores, tales como la intensidad de la corriente aplicada externamente, la distancia del cuerpo al origen de la corriente, la presencia de objetos que puedan apantallar o concentrar el campo, la forma y postura que tenga el cuerpo, etc. Así, la corriente que se induce en una persona bajo una línea no es la misma si está de pie o si está sentada.

Se puede calcular la magnitud de estas corrientes inducidas. Y se sabe que, incluso debajo justo de una línea de alta tensión, los niveles son tan bajos, que las corrientes no pueden penetrar en las células y se quedan fuera.

Por otra parte, en el **funcionamiento normal de los seres vivos**, se generan corrientes (por ejemplo, por el latido del corazón o por la transmisión de señales nerviosas) que son muy superiores a las que se pueden inducir como consecuencia de la exposición a cualquier electrodoméstico o línea eléctrica. Ésta es una de las ra-

ziones por la que algunos científicos mantienen que los campos electromagnéticos no pueden tener efectos biológicos.

La densidad de corriente natural en el cuerpo humano es aproximadamente de 1 a 10 mA/m² por lo que, para alcanzar los 10 mA/m² habría que exponer a un individuo a un campo superior a 500 μ T, una intensidad 50 veces superior a la que puede encontrarse bajo una línea de 220 kV.

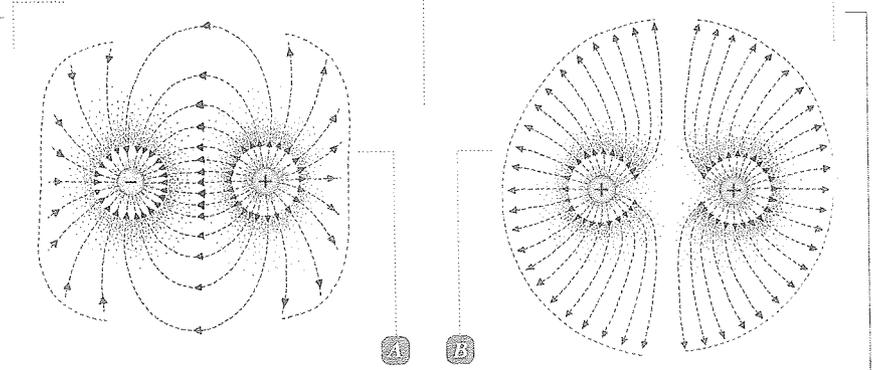
A modo de ilustración, cabe señalar que, cuando se está expuesto a un campo magnético variable de 0,2-20 μ T, se generan en el cuerpo campos eléctricos de entre 0,004 y 0,4 mV/m. Este valor es muy inferior a los aproximadamente 20 mV/m naturales del cuerpo humano que genera el movimiento normal de electrones en su interior, un fenómeno llamado *ruido térmico*.

Estudios realizados sobre voluntarios han determinado que algunas personas pueden percibir campos eléctricos de entre 2 y 10 kV/m. Estas personas describen una sensación de "cosquilleo" que se produce porque el campo eléctrico hace vibrar el pelo de la cabeza y del cuerpo. En el caso del campo magnético, únicamente bajo altísimas intensidades (del orden de 10.000 μ T) pueden percibirse unos destellos de luz (llamados magnetofosfenos) análogos a los que se producen cuando nos frota los ojos. En cualquier caso, el hecho de percibir los campos no implica efecto nocivo alguno.

4.- EFECTOS BIOLÓGICOS INVESTIGADOS

Como se ha dicho anteriormente, en estos momentos el único mecanismo conocido por el cual los CEM de frecuencia industrial podrían producir un efecto biológico es la inducción de corrientes en el interior del cuerpo.

Al ser las corrientes inducidas por estos campos muy pequeñas, se han buscado otros mecanismos por



A) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y de signo opuesto.

B) Líneas de campo eléctrico entre dos cargas iguales y del mismo signo.

los cuales los CEM podrían ejercer un efecto biológico.

Los resultados de diferentes experimentos en busca de nuevos mecanismos de acción nos permiten decir que estos campos:

- No alteran la estructura del material genético ni interfieren con su reparación.
- No modifican el ritmo de fabricación de proteínas y otros compuestos químicos (en especial los relacionados con el cáncer).
- No tienen efectos sobre el movimiento de iones como el calcio (de gran importancia en la respuesta celular).
- No modifican la respuesta celular normal a ciertas hormonas.
- No alteran el ritmo de crecimiento y división celular.
- No parece que alteren la comunicación entre las células (que puede modular el control del crecimiento de las células).

Actualmente se sigue investigando en otros campos, por ejemplo, sobre un posible efecto en la respuesta inmune de un organismo expuesto a CEM aunque hasta el momento no se ha encontrado ningún efecto biológicamente significativo por debajo de 200 microteslas.

También se investiga la posibilidad de que estos campos pudieran afectar la velocidad a la que se producen ciertas reacciones químicas, aunque la evidencia preliminar indica que ésta sólo se alteraría en presencia de campos extraordinariamente intensos, imposibles de encontrar en

un medio doméstico o laboral normal.

Para seguir profundizando en el conocimiento de efectos biológicos se han investigado efectos sobre animales expuestos bajo condiciones de laboratorio y los efectos sobre grupos de personas expuestas a los campos de 50 Hz en su domicilio o en su trabajo. A continuación se comentan los resultados de las distintas investigaciones.

4.1.- Alteraciones en la fertilidad y reproducción

Las últimas revisiones publicadas en la literatura científica sobre los efectos de los CEM en la fertilidad y reproducción concluyen que los estudios sobre animales expuestos son, en su mayoría, negativos: no interfieren con el crecimiento fetal, no ocasionan una mayor incidencia de malformaciones congénitas o de abortos, y el desarrollo neurocomportamental de los animales es normal. Los resultados de todos ellos **no apoyan la hipótesis de que los CEM afectan el proceso de reproducción en animales de experimentación.**

En lo que se refiere a estudios sobre fertilidad y reproducción en personas se han publicado recientemente dos estudios sobre mujeres que usan mantas eléctricas o camas de agua calentada eléctricamente y el riesgo de aborto espontáneo. En conjunto estos dos estudios han investigado a más de 4.000 mujeres que usan uno de estos electrodomésticos y en ningún caso han encontrado un

Tubos fluorescentes y líneas eléctricas

Un tubo fluorescente sostenido con la mano debajo de una línea eléctrica de AT en una noche oscura brilla débilmente. La espectacularidad de que el fluorescente luzca sin necesidad de estar enchufado suele utilizarse para intentar convencer a la población de que los CEM que generan las líneas eléctricas son perjudiciales para la salud. Sin embargo, se trata de un fenómeno perfectamente conocido y normal, y no representa tipo de riesgo alguno.

Existen diversos procesos por los cuales una sustancia puede emitir radiación visible. El más conocido es la "incandescencia" o emisión de luz como consecuencia de la alta temperatura del objeto; así es como funciona una bombilla normal. Otro es la "fluorescencia", en la que los electrones son excitados a un nivel de superior de energía y, al regresar a su estado de reposo, emiten partículas de luz (fotones).

Un tubo fluorescente consiste en un tubo de vidrio que contiene un gas a muy baja presión y dos electrodos a ambos extremos entre los que se crea una diferencia de potencial (y, por lo tanto, un campo eléctrico) cuando se enciende, en ese momento en el que circula una corriente eléctrica a través del gas. Este flujo de corriente eléctrica hace que el gas emita luz visible por fluorescencia.

Cuando el tubo está inmerso en un campo eléctrico externo ocurre exactamente lo mismo que cuando está enchufado: se crea una diferencia de potencial entre los extremos que hace que circule una pequeña corriente eléctrica. Por lo tanto, la conclusión es que un tubo fluorescente brilla debajo de una línea eléctrica precisamente porque es así como funciona, el campo eléctrico externo imita el funcionamiento de los electrodos.

Es interesante resaltar los siguientes aspectos de este fenómeno:

- Para que se produzca es imprescindible coger el tubo con la mano y apuntar hacia la línea eléctrica; la razón es que el brazo extendido deforma las líneas de flujo del campo eléctrico (es lo que se conoce como 'efecto punta') haciendo que la intensidad del campo eléctrico a la altura de la mano sea mucho más elevada que en el otro extremo del tubo, lo que da lugar al flujo de corriente eléctrica en su interior y, consecuentemente, a que brille. Si no se coge el tubo con la mano y el brazo extendido, no brillará, ni siquiera aunque lo acerquemos a los cables con una pértiga aislante, puesto que un objeto aislante no deforma las líneas de flujo.

- La luz que emite un tubo fluorescente situado debajo de una línea eléctrica es mucho más débil que cuando está enchufado y encendido, por lo que sólo se aprecia en una noche oscura.

- Es el campo eléctrico (y no el magnético) el que da lugar a este fenómeno. Esto es importante por dos razones: primero porque es el campo magnético el que se está estudiando si puede tener alguna incidencia en la salud; y segundo, que el campo eléctrico es apantallado por cualquier obstáculo (árboles, paredes...), por lo que en el interior de un inmueble la intensidad del campo eléctrico generado por una línea eléctrica situada en el exterior es casi nula.

- Este fenómeno deja de apreciarse cuando nos alejamos unos pocos metros de la línea. Según una experiencia de campo, deja de brillar a unos 40 metros de una línea eléctrica de 400 kV, cuando el valor del campo eléctrico es aproximadamente de 0,5 kV/m.

aumento en el riesgo de malograr un embarazo.

Uno de estos estudios examinó además la proximidad de las casas de estas mujeres a líneas eléctricas y no encontró una relación entre riesgo de aborto y vivir cerca de instalaciones eléctricas susceptibles de crear campos electromagnéticos intensos.

Estos estudios se unen a otros cinco anteriores que, además de investigar la incidencia de abortos, analizan la incidencia sobre el crecimiento del feto durante el embarazo y algún tipo de malformaciones; en estos estudios (realizados en mujeres que usaban mantas eléctricas o vivían cerca de líneas de alta tensión) no se vio que existiera un riesgo aumentado para ninguno de estos problemas.

El NRPB (*National Radiological Protection Board*) de Gran Bretaña ha hecho la siguiente consideración sobre dos estudios publicados recientemente y que parecen asociar riesgo de aborto con cierto tipo de exposición a campo magnético: *"Ninguno de los estudios proporciona suficientes evidencias de riesgo de aborto en relación con exposición a campos magnéticos superiores a la media y ninguno justifica actuaciones legislativas. Es incluso debatible el justificar siquiera nuevas investigaciones sobre esta posibilidad, que no serían fáciles de llevar a cabo de forma que se obtenga una respuesta definitiva."*

4.2.- Cáncer

La posible relación entre exposición a CEM de frecuencia industrial y riesgo de cáncer es la que se ha investigado en mayor profundidad.

Los estudios llevados a cabo sobre animales son, en su mayoría, negativos; es decir, no se ha podido demostrar que en animales de experimentación sometidos a diferentes intensidades de CEM aumente la incidencia de cáncer con respecto a animales no expuestos.

Desde el comienzo de las investigaciones sobre la relación entre campos y cáncer se han realizado estudios

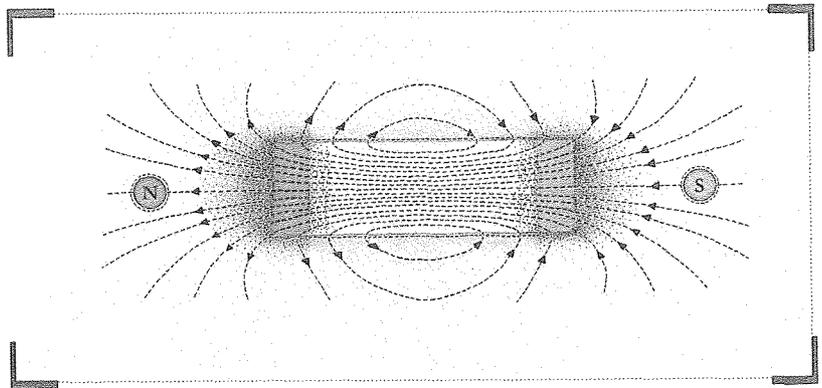
sobre inducción de estas enfermedades en más de 5.000 animales de experimentación bajo muy diferentes condiciones de exposición, de 2 a 1.000 microteslas tanto de forma continua como intermitente. Se han investigado las diferentes fases conocidas del proceso cancerígeno: la iniciación, la promoción y la progresión.

Para ello se ha expuesto a animales a CEMs de 50-60 Hz a lo largo de toda su vida (investigando la posibilidad de que inicien por sí solos el proceso cancerígeno), se ha investigado la promoción o aceleración del cáncer tras la administración de un agente físico o químico, la tasa de leucemia o linfoma en animales genéticamente predispuestos, y por último la progresión en un modelo animal en el que se implantan células leucémicas.

En conjunto, estos resultados, y los de los estudios *in vitro* que analizan la expresión de genes ligados al cáncer, corroboran la opinión de que no hay una evidencia experimental que haga suponer que los CEM estén relacionados con el cáncer en general o la leucemia en particular.

Los estudios epidemiológicos sobre personas expuestas en su domicilio o en su trabajo han mostrado, en algunas ocasiones, unos riesgos de algún tipo de cáncer ligeramente aumentados, en especial para la leucemia infantil. En la mayoría de estos casos, no se encontraba una relación con los niveles de CEM medido sino con otros parámetros que supuestamente se relacionan con los niveles de campo. Entre éstos se pueden mencionar el tamaño y disposición de los cables eléctricos próximos a una vivienda, o el cálculo de los niveles de campo según carga eléctrica transportada por una línea y su distancia a las casas.

En 1992 se publicó un estudio sueco del Instituto Karolinska (Feychting y Ahlbom) que atrajo la atención de los medios de comunicación. Este estudio se realizó sobre ni-



Líneas de campo magnético de un imán en forma de barra.

ños y adultos que vivían cerca de líneas de alta tensión. El principal resultado fue que el riesgo de padecer leucemia era mayor en niños con un nivel de exposición superior a $0,2 \mu\text{T}$ (basado en siete casos analizados). También se encontró que el riesgo aumentaba conforme las casas estaban más cerca de la línea de alta tensión; a 50 metros de la línea el riesgo de leucemia era de 2,9 y casi estadísticamente significativo. No se encontró un riesgo aumentado para ningún otro tipo de tumor.

Por el contrario, en países como Noruega, Dinamarca y Finlandia, usando una metodología parecida, no encontraron riesgos aumentados de leucemia por el hecho de vivir en la proximidad de instalaciones eléctricas.

En los últimos cuatro años y prestando especial atención a la leucemia infantil, los nuevos estudios recientemente publicados, en los que se usan mediciones más precisas (dosímetros) no han visto riesgos estadísticamente significativos en las personas expuestas a CEMs.

El primero de estos nuevos estudios, coordinado por el Instituto Nacional del Cáncer de EE.UU. y publicado en la prestigiosa revista médica *New England Journal of Medicine* (3 de julio de 1997), concluye que no se encuentra un riesgo elevado de leucemia en relación con una exposición de $0,2 \mu\text{T}$ o superior (el nivel considerado en el estudio del Instituto Karolinska) en viviendas ni se encuentra relación alguna con el

hecho de vivir cerca de distintos códigos o configuraciones de cables.

Otros estudios posteriores canadienses tampoco encuentran asociación con el código de cables. En cuanto a las medidas puntuales, realizadas en el dormitorio de los niños así como en otros cuartos, no se asocian en ninguno de los estudios con un riesgo significativo de leucemia. Sólo en uno de los estudios se encuentra una asociación significativa entre leucemia y las medidas realizadas en el exterior de la casa. La importancia de este resultado disminuye al no observarse un aumento del riesgo conforme aumenta el nivel de campo magnético en el exterior de la casa.

El mayor estudio realizado hasta la fecha (3.838 casos de cáncer) es el realizado en Gran Bretaña (UKCCS, Grupo de Estudio del Cáncer Infantil de Gran Bretaña), cuyos resultados son uniformemente negativos para todos los tipos de cáncer y en especial para las leucemias, por lo que concluye que "el estudio no proporciona evidencia de que la exposición a campos magnéticos asociados con la distribución de electricidad en Gran Bretaña aumente el riesgo de leucemia infantil, cáncer del sistema nervioso central, o cualquier otro tipo de cáncer de la infancia."

Una crítica que se le puede hacer a este estudio es que tiene menor número de casos expuestos a niveles elevados de campo magnético que los estudios americanos. Esto se explica por la diferente configuración eléctrica

NORMATIVA INTERNACIONAL DE EXPOSICIÓN A CAMPOS ELÉCTRICOS (en kV/m) Y MAGNÉTICOS (en μ T) DE FRECUENCIA INDUSTRIAL

Organismo	Trabajadores	Público	Estatus	Base
ICNIRP (para 50 Hz) Comisión Internacional para la protección ante Radiaciones no Ionizantes	10 kV/m 500 μ T	5 kV/m 100 μ T	A	Z
País				
España/Unión Europea ^(a)	-	5 kV/m 100 μ T	A	Z
Alemania ^(b)	10 - 5 kV/m ^(a) 100 μ T ^(a)		B	Z
Australia	30 - 10 kV/m ^(b) 5.000 - 500 μ T ^(c)	10 ^(d) - 5 (e) kV/m 1.000 ^(f) - 100 ^(e) μ T	A	Z
Austria	30 - 10 kV/m ^(b) 5.000 - 500 μ T ^(c)	10 ^(d) - 5 kV/m 1.000 ^(f) - 100 μ T	C	Z
Bélgica ^(b)	10 (g) - 7 (h) - 5 (i) kV/m		B	Y
Bulgaria	25 kV/m 1.200 μ T	-	C	-
(*) Checoslovaquia ^(b)	15 ^(g) - 10 ^(h) - 1 ⁽ⁱ⁾ kV/m		C	Y, X
Estados Unidos	25 kV/m ^(c) 1.000 μ T ^(p)	-	A	Z
Florida ^(b)	10 ⁽ⁱ⁾ - 8 ^(k) - 2 ^(j) kV/m 20 - 15 μ T ^(q)		C	X, W
Minnesota ^(b)	8 kV/m ^(g)		D	Y
Montana ^(b)	7 ^(h) - 1 ⁽ⁱ⁾ kV/m		B	Y, X
New Jersey ^(b)	3 kV/m ⁽ⁱ⁾		A	X
Nueva York ^(b)	11,8 ^(g) - 11 ^(m) - 7 ⁽ⁿ⁾ - 1,6 ^(l) kV/m 20 μ T		D	W
Oregón ^(b)	9 kV/m ⁽ⁱ⁾		B	X
Holanda	250 - 62,5 - 40 kV/m ^(a) 600 μ T	8 kV/m 120 μ T	A	Z
Hungría	-	5 kV/m	-	-
Italia ^(z)	-	10 - 5 kV/m ^(s) 1.000 - 100 μ T ^(s)	B	Y
Japón ^(b)	3 ⁽ⁱ⁾		B	X
Polonia	20 ^(v) - 15 kV/m 5.000 - 500 μ T ^(v)	10 - 1 ^(w) kV/m -	B	Y, X, Z
Reino Unido ^(b)	12 kV/m 1.600 μ T		A	Z
Suiza ^(b)	5 kV/m 100 - 1 μ T (x)		B	
(*) U.R.S.S.	25 - 5 ^(y) kV/m	20-15-10-5-1 kV/m ^(z)	B	Y, X

(*) Actualmente son la República Checa, Eslovaquia y la C.E.I. (Ignoramos si estas normativas siguen en vigor)

ca en América respecto a Europa. En América, es necesario transportar el doble de corriente para conseguir la misma potencia. Puesto que el campo magnético depende de la corriente, éste será mayor en América que en Europa.

Nuevos meta-análisis sobre leucemia infantil

En 2000 se han publicado tres meta-análisis o análisis conjuntos de los datos de varios estudios. Estos estudios muestran una pequeña asociación entre campos intensos, tanto medidos como calculados, y un au-

mento en el riesgo de leucemia infantil para la categoría de máxima exposición, más de 0,4 μ T, aunque los resultados se basan en muy pocos casos (Ocho casos).

Hay que decir, sin embargo, que no es lo mismo medir que calcular el campo. Cuando se mide se toman en cuenta todas las posibles fuentes de exposición, mientras que cuando se calcula sólo se toma en cuenta una fuente (normalmente las líneas eléctricas de alta tensión presentes en el exterior de la vivienda), por lo que se subestima la exposición global de un sujeto. Por lo tanto, no se debe tomar

la concordancia de ambos resultados como prueba de una asociación entre campo magnético y leucemia.

Teniendo en cuenta estas y otras aclaraciones, el Consejo de Salud de Holanda, entre otros, ha concluido que "No es probable que niños (o adultos) que viven cerca de líneas de alta tensión estén sometidos a un riesgo por la exposición a campos magnéticos generados por esas líneas."

Por su parte en el informe del Consejo Nacional de Protección Radiológica del Reino Unido también se hace eco de estos meta-análisis y afirma que algunos de sus resultados

pueden deberse a ciertos sesgos en la selección de los individuos bajo estudio; basándose en todos los estudios hasta la fecha, incluidos estos últimos, no estima necesario cambiar los límites de exposición del público en general.

4.3.- Otras enfermedades investigadas

En 1996, un estudio refirió que profesiones con "probable exposición" a CEMs como eran sastres y costureras tenía un riesgo aumentado de padecer enfermedad de Alzheimer (EA), aunque no encontraron un riesgo aumentado de esta enfermedad en otras profesiones eléctricas. Tres estudios posteriores no encontraron esta relación.

La Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) es otra enfermedad neurológica que en 1986 se relacionó con los CEMs en un pequeño estudio que incluía 19 casos de esta enfermedad. Otros estudios posteriores han encontrado un riesgo elevado entre soldadores (expuestos a una gran variedad de campos electromagnéticos, además de humos y metales) y marginalmente aumentado en electricistas y operadores de centrales eléctricas.

En el último estudio (realizado en una amplia cohorte de trabajadores eléctricos daneses) sólo se encuentra una relación estadísticamente significativa cuando esta enfermedad se engloba junto con las demencias seniles. El autor de este estudio propone la hipótesis de que el agente desencadenante de la enfermedad pudiera ser no el CEM sino las descargas eléctricas a las que algunos trabajadores están expuestos. Para apoyar esta hipótesis, cita un estudio inglés y otro americano que hallaron una mayor incidencia de descargas eléctricas entre trabajadores con esta enfermedad que entre controles.

Recientemente el NRPB de Gran Bretaña ha revisado este tema y concluye: "No existe una buena base para pensar que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extre-

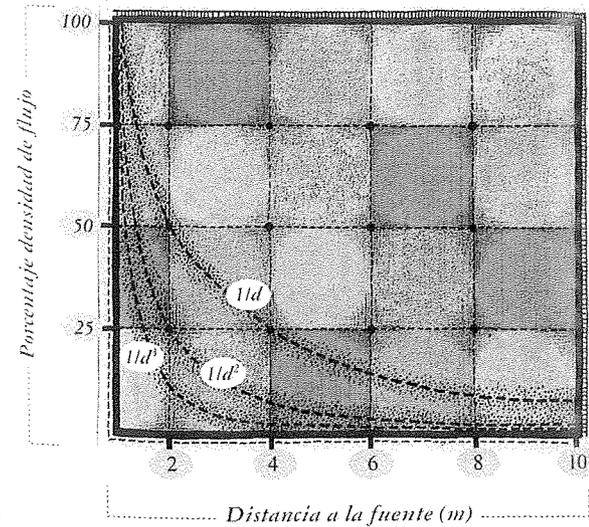
madamente baja cause enfermedad de Parkinson y sólo una muy débil evidencia que sugiera que pueden causar enfermedad de Alzheimer. La evidencia de que las personas que trabajan en el sector eléctrico tienen un riesgo aumentado de desarrollar Esclerosis Lateral Amiotrófica es bastante más fuerte, pero podría deberse a un riesgo aumentado de descargas eléctricas más que a un efecto a largo plazo de la exposición al campo en sí."

5.- LEGISLACIÓN SOBRE EXPOSICIÓN A CEMs DE FRECUENCIA INDUSTRIAL

Debido a la presión social, diversos Organismos científicos han analizado la evidencia sobre posibles efectos adversos para la salud por la exposición a estos campos. Todos han concluido que no existe una clara evidencia de que existan efectos nocivos a largo plazo (cáncer u otras enfermedades) por el hecho de estar expuestos a campos de 50-60 Hz. Por ello, han decidido que sobre lo único que se puede legislar es sobre los efectos a corto plazo; para ello toman como punto de partida el único mecanismo conocido por el que se pueden dar efectos biológicos: la inducción de corrientes.

Partiendo de que corrientes inducidas de alrededor de 10 mA/m² no tienen efectos biológicos aparentes, y aplicando unos modelos matemáticos para traducir la densidad de corriente inducida (que no se puede medir directamente) a valores de campo eléctrico y magnético capaces de inducir dicha corriente, se llegan a unos valores que no se deben sobrepasar en ningún caso.

Sin embargo, puesto que la preocupación social real es sobre los efectos biológicos a largo plazo (no demostrados), introducen ciertos factores de seguridad de forma que,



Disminución de la intensidad del campo magnético según el número de conductores y distancia a los mismos.

en palabras textuales de la Comisión Europea: "puesto que existen cerca de 50 factores de seguridad entre los valores límite en relación con los efectos agudos y las restricciones básicas, esta Recomendación abarca implícitamente los posibles efectos a largo plazo en toda la gama de frecuencias."

A continuación se presentan los valores fijados en distintos países. España no tiene, en materia de protección de la salud, una legislación de obligado cumplimiento en lo que se refiere a 50 Hz (sí en cambio un Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre de 2001 para emisiones radioeléctricas), pero existe una aceptación implícita de que los límites de la Recomendación Europea para 50 Hz, mencionados más abajo son los que proporcionan una adecuada protección a los ciudadanos (ver informe del Ministerio de Sanidad y Consumo sobre campos electromagnéticos, disponible en la página web del Ministerio en el apartado de Salud Ambiental).

Sí existe, sin embargo, en nuestro país, una legislación de los años 60 (Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión) en materia de seguridad eléctrica: las líneas eléctricas no pueden construirse a menos de una distancia determinada de las

viviendas. La distancia de un conductor a cualquier punto al que pueda tener acceso una persona se especifica por la fórmula $D = 3.3 + U/100$, siendo U la tensión nominal de la línea en kV, y siendo la distancia mínima en cualquier caso, 5 m. Aplicando esta fórmula a una línea de 220 kV, la distancia mínima de seguridad es de 5,5 m; y para una línea de 400 kV esta distancia es de 7,3 m.

Curiosamente, esa legislación se aplicaba únicamente al sector eléctrico y no al inmobiliario: no se podía construir una línea por encima de una casa, pero sí se podía construir una casa debajo de una línea. Recientemente esto ha cambiado y de acuerdo con el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, cuyo artículo 162 párrafo 3 dice: "...para las líneas eléctricas aéreas queda limitada la plantación de árboles y prohibida la construcción de edificios e instalaciones industriales en la franja definida por la proyección sobre el terreno de los conductores extremos en las condiciones

más desfavorables, incrementada con las distancias reglamentarias a ambos lados de dicha proyección."

Leyenda

Organismo/País

(α) Es una recomendación aplicable únicamente en sitios donde el público pase bastante tiempo.

(β) Normativa referida al campo eléctrico y magnético generado únicamente por líneas eléctricas aéreas y en la que no se hace distinción entre trabajadores y público.

(χ) Italia, además, impone unas distancias mínimas a las líneas eléctricas de muy alta tensión:

(10 m a líneas de 132 kV / 18 m a líneas de 220 kV / 28 m a líneas de 400 kV)

(δ) Legislación aplicable a los campos generados por instalaciones estacionarias (no incluye electrodomésticos).

Exposición de trabajadores y público

(a) Campo eléctrico y magnético generados por líneas eléctricas y transformadores de más de 1 kV. Se aplica en edificios o terrenos con presencia no puntual de personas. Se

pueden alcanzar valores de 10 kV/m y 200 μT durante cortos periodos de tiempo que no excedan el 5% del día.

(b) El tiempo de exposición, en horas al día, viene dado por: $t < 80/E$ (siendo E la intensidad del campo eléctrico externo entre 10 y 30 kV/m).

(c) Respectivamente: toda la jornada laboral y 2 horas al día. Se puede alcanzar 25.000 μT en extremidades.

(d) Durante unas pocas horas al día. Se puede exceder unos minutos al día (hasta 20 kV/m durante 5 minutos en el caso de Austria) siempre que se tomen precauciones para prevenir efectos indirectos.

(e) Durante 24 horas al día en espacios abiertos en donde se pueda asumir de forma razonable que el público pueda pasar una parte substancial del día.

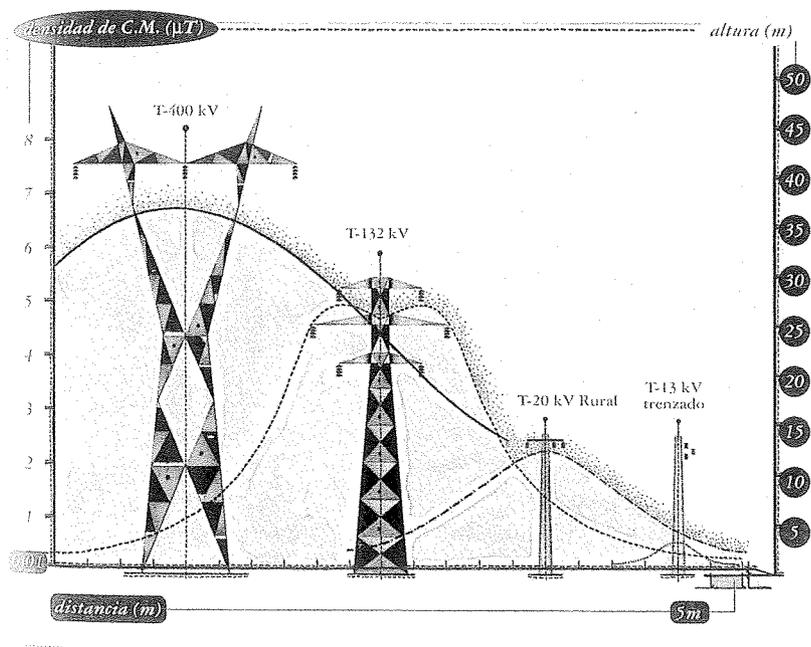
(f) Durante unas pocas horas al día. Se puede exceder unos minutos al día (hasta 2.000 μT durante 5 minutos en el caso de Austria) siempre que se tomen precauciones para prevenir efectos indirectos.

(g) (g, h, i, j, k, l, m, n) Respectivamente: campo generado por líneas eléctricas aéreas en general (g), en el cruce de carreteras (h), en zonas accesibles o habitadas (i), líneas de 500 kV (j), líneas de 69-230 kV (k), en el borde de la calle (l), y en el cruce de carreteras privadas (m) y carreteras públicas (n).

(o) Recomienda el uso de dispositivos de protección (como trajes aislantes) para campos por encima de 15 kV/m.

(p) La exposición de las extremidades puede alcanzar 5.000 μT. Los trabajadores con marcapasos no deben exponerse a campos por encima de 100 μT.

(q) Respectivamente: exposición del cuerpo, excluyendo la cabeza e incluyendo la cabeza, cuando no sean



Líneas eléctricas aéreas. Densidad de campo magnético medida a 1 metro del suelo.

posibles efectos indirectos, y exposición cuando sean posibles efectos indirectos.

(r) Respectivamente, campo magnético generado por líneas eléctricas aéreas de 500 y 230 kV.

(s) Respectivamente, exposición durante unas pocas horas al día y donde se pueda asumir de forma razonable que el público pasa una parte significativa del día.

(t) No se aplica donde raramente haya personas presentes.

(u) Durante dos horas al día como máximo.

(v) El tiempo de exposición, en horas al día, viene dado por: $D = H^2 t$ (siendo H la intensidad del campo magnético externo en kA/m y $D = 1,28$ (kA/m²h); resultando 8 horas a 500 μ T y 5 minutos a 5.000 μ T).

(w) En zonas donde haya viviendas, hospitales, escuelas, etc.

(x) Se aplica a las líneas aéreas y subterráneas de nueva construcción de más de 1 kV y a todas las subestaciones y transformadores. Es posible hacer excepciones si se han tomado medidas adecuadas para reducir el campo.

(y) Exposición durante un periodo de tiempo (en horas al día) dado por: $t = 50/E - 2$

(siendo E la intensidad de campo eléctrico externo entre 5 y 20 kV/m; para valores entre 20-25 kV/m la duración máxima de la exposición será de 10 minutos).

(z) Respectivamente: campo eléctrico generado por líneas eléctricas aéreas en zonas no accesibles, deshabitadas, cruce de carreteras, zonas habitadas y edificios.

Estatus

A- Guía o recomendación.

B- Legislación (de obligado cumplimiento).

C- Norma (a veces con cierta fuerza legal) [En el caso de Austria, es una Norma Experimental o Prenorma].

D- Valor exigido por la Administración para autorizar la construcción de una nueva instalación eléctrica.

BASE

Z- Limitar la densidad de corriente inducida en el interior del organismo.

Y- Preocupación por posibles efectos en la salud.

X- Percepción de hormigueo en la piel o chispazos.

W- Limitar el campo a los valores que generan las instalaciones ya existentes.

6.- CONCLUSIONES

- Toda la población está expuesta, en mayor o menor medida, a campos electromagnéticos de origen artificial (radio, televisión, campos de frecuencia industrial, telefonía móvil, etc.) desde hace décadas.

- El único mecanismo conocido por el cual los campos electromagnéticos de frecuencia industrial podrían producir un efecto biológico nocivo es la inducción de corrientes en el interior del organismo, razón por la cual es la base de la normativa internacional de exposición.

- No hay evidencias de que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial alteren la estructura del material genético, el movimiento iónico, el ritmo celular de crecimiento y división y otros muchos mecanismos.

- No hay evidencias de que los campos electromagnéticos de frecuencia industrial estén relacionados con alteraciones en la fertilidad y la reproducción, cáncer o enfermedades neurológicas.

- España ha aceptado la Recomendación Europea de exposición a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz.

7.- BIBLIOGRAFÍA

7.1.- Páginas de Internet

- Informe del Ministerio de Sanidad y Consumo de España.

<http://www.msc.es/salud/ambiental/home.htm>

- Preguntas y respuestas más frecuentes sobre líneas eléctricas y cáncer (Medical College of Wisconsin).

<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/lineas-electricas-cancer/toc.html>

- Programa de la Organización Mundial de la Salud.

<http://www.who.int/peh-emf>

- Servidor del Instituto de Salud y Ciencias Medioambientales del Gobierno de Estados Unidos.

<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>

- Información para trabajadores.

<http://www.cdc.gov/niosh/emf2.html>

- Grupo *ad hoc* de Campos Electromagnéticos de Unesa.

<http://www.unesa.es> (apartado de publicaciones)

7.2.- Revisiones generales

- Informe del Grupo Asesor sobre Radiaciones No ionizantes del NRPB (National Radiological Protection Board) *Doc. NRPB, 12 (1), 1-179 (2001)*.

- Informe del Consejo Nacional de Investigación (NRC) de Estados Unidos, 1999. (National Academy Press. ISBN-0-309-06543-7. Research on Power Frequency fields completed under the Energy Policy Act of 1992).

- Informe del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ambiental (NIEHS). Estados Unidos, 1999. NIH Publication No. 99-4493.

- Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). 1998. Posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente de los campos electromagnéticos producidos por las líneas de A.T.

- National Academy of Sciences, National Research Council. National Academy of Sciences. Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields. 1996; 1st ed., 1-314. Washington D.C. National Academy Press.

- Bonneville Power Administration. Lee JM, *et al.* (1996). Electrical and biological effects of transmission lines: A review. Bonneville Power Administration. Portland Oregon. ■