
**PISSQ PROGRAMA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD
DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS**



Guía para la Salud y la Seguridad No. 27

CAMPOS MAGNÉTICOS

GUÍA PARA LA SALUD Y LA SEGURIDAD

Este es un volumen que acompaña a la publicación
"Environmental Health Criteria 69: Magnetic Fields"
(Criterios de Salud Ambiental 69: Campos Magnéticos)



**CENTRO PANAMERICANO DE ECOLOGÍA HUMANA Y SALUD
DIVISIÓN DE SALUD Y AMBIENTE
ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD**

**Metepac, Estado de México, MÉXICO
1996**

ISBN 92 75 37080 X

(traducción)

La traducción de esta Guía se realizó bajo el patrocinio del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (PISSQ), con un apoyo financiero otorgado por el "National Institute of Environmental Health Sciences" (Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental) de los Estados Unidos de América.

Título original en inglés:

Magnetic Fields. Health and Safety Guide

Health and Safety Guide No. 27

ISBN 92 4 154348 5

ISSN 0259-7268

© World Health Organization 1989

1a. Reimpresión

Publicado por la Organización Mundial de la Salud para el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (un programa de colaboración entre el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud).

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	5
1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES	7
1.1 Características físicas	7
1.1.1 Campos magnéticos estáticos	7
1.1.2 Campos magnéticos variables con el tiempo	7
1.2 Unidades y cantidades	7
1.3 Fuentes de campos magnéticos y aplicaciones	8
1.3.1 Fuentes naturales	8
1.3.2 Fuentes antropogénicas	8
2. RESUMEN Y EVALUACIÓN	12
2.1 Exposición humana a los campos magnéticos	12
2.2 Mecanismos de interacción	12
2.2.1 Inducción magnética	12
2.2.2 Efectos magnetomecánicos	13
2.2.3 Interacciones electrónicas	13
2.3 Efectos en animales y en diversos organismos	13
2.4 Efectos en los seres humanos	15
2.4.1 Campos magnéticos estáticos	15
2.4.2 Campos magnéticos variables con el tiempo	15
3. CONCLUSIONES	17
3.1 Campos estáticos	17
3.2 Campos variables con el tiempo	17
4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN	18
4.1 Reducción de la exposición	18
4.2 Seguridad	18
5. REGLAMENTOS, GUÍAS Y NORMAS ACTUALES	20
5.1 Campos estáticos	20
5.2 Campos variables con el tiempo	20
5.3 Imagen de resonancia magnética (IRM)	20
REFERENCIAS	24

INTRODUCCIÓN

Los documentos de los Criterios de Salud Ambiental, CSA, (EHC siglas en inglés), a cargo del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas incluyen una evaluación de los efectos en el medio ambiente y en la salud del ser humano por la exposición a una sustancia o a una combinación de sustancias, o bien a agentes físicos o biológicos. Estos documentos también proporcionan guías para establecer los límites de exposición.

El propósito de una Guía para la Salud y la Seguridad es el facilitar la aplicación de estas guías en programas nacionales de seguridad química. Las tres primeras secciones de la Guía para la Salud y la Seguridad destacan la información técnica relevante en el CSA correspondiente. La sección 4 incluye la asesoría sobre medidas preventivas y de protección; los trabajadores del área de la salud deberán familiarizarse a fondo con la información médica para asegurar una actuación eficiente ante una emergencia. La sección sobre la información reglamentaria fue extraída del archivo legal del "Registro Internacional de Sustancias Químicas Potencialmente Tóxicas" (IRPTC, siglas en inglés) y de otras fuentes de las Naciones Unidas.

Este documento está dirigido a los profesionales de los servicios de salud ocupacional, a aquellos que trabajan en los ministerios y agencias gubernamentales, industrias y sindicatos, y que están preocupados por el uso seguro de las sustancias y por evitar peligros de salud ambiental, así como a quien desee mayor información sobre este tema. Se ha tratado de utilizar terminología que sea familiar al lector potencial; no obstante, las secciones 1 y 2 incluyen inevitablemente algunos términos técnicos. Se proporciona una bibliografía para los lectores que requieran mayor información básica.

Se llevará a cabo, en el momento preciso, la revisión de la información contenida en esta Guía para la Salud y la Seguridad, siendo la meta final el uso de terminología estandarizada. Nos serán muy útiles los comentarios sobre cualquier dificultad que haya usted tenido al utilizar la guía y deberán enviarse a:

The Director
International Programme on Chemical Safety
Division of Environmental Health
World Health Organization
1211 Geneva 27
Switzerland

**LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTA
GUÍA DEBERÁ CONSIDERARSE COMO EL
PUNTO INICIAL DE UN PROGRAMA
COMPLETO DE SALUD Y SEGURIDAD**

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES

1.1 Características Físicas

Un campo magnético puede ilustrarse por líneas de fuerza y existe siempre que haya un flujo de corriente eléctrica.

1.1.1 Campos magnéticos estáticos

Un campo magnético estático se forma alrededor de un imán permanente o por flujo de corriente directa.

1.1.2 Campos magnéticos variables en el tiempo

Estos campos se producen por corrientes alternas con una frecuencia mayor de cero y hasta cerca de 300 Hz, y también pueden ser referidos como de frecuencia extremadamente baja o campos magnéticos (ELF, siglas en inglés).

En la práctica, en lo que se refiere a la protección de la radiación, resulta útil considerar por separado los campos magnéticos estáticos y los variables en el tiempo. En el caso de los primeros, tienden a establecerse límites de protección principalmente en términos de intensidad del campo externo, o bien de densidad del flujo magnético y duración de la exposición. Puesto que los campos magnéticos variables con el tiempo inducen corrientes parásitas de Foucault dentro del cuerpo, la evaluación puede establecerse con base en la densidad de la corriente (intensidad del campo eléctrico) en los órganos críticos. Entonces, los límites de protección derivados pueden expresarse como exposiciones a campos magnéticos externos, con lo cual es necesario especificar la intensidad del campo, la forma del pulso (tiempo de elevación y de depresión) y su frecuencia, orientación del cuerpo, así como la duración de la exposición.

1.2 Unidades y Cantidades

Las cantidades que describen un campo magnético son:

(a) Frecuencia (f)	hertz (Hz)
(b) Corriente (I)	amperio (A)
(c) Densidad de corriente (J)	amperio por metro cuadrado(A/m ²)
(d) Intensidad del campo (H)	amperio por metro (A/m)
(e) Densidad de flujo (B)	tesla (T) = Wb/m ²
(f) Permeabilidad (μ)	henrio por metro (H/m)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES

La intensidad del campo magnético es la fuerza con la cual actúa el campo sobre un elemento de la corriente eléctrica en un punto específico. La densidad del flujo magnético se utiliza para describir el campo magnético generado por corrientes eléctricas en un conductor. La intensidad del campo magnético (H) se relaciona con la densidad del flujo magnético (B) por la ecuación:

$$B = \mu H$$

Por ello, el campo magnético se define como un campo vector de densidad de flujo magnético B (campo B). El valor de μ (la permeabilidad magnética) se determina por las propiedades del medio y para la mayor parte de los materiales biológicos, es equivalente a μ_0 , el valor de la permeabilidad del espacio libre (aire).

1.3 Fuentes de Campos Magnéticos y Aplicaciones

1.3.1 Fuentes naturales

El campo magnético natural consiste de un componente que se origina en la tierra, que actúa como un imán permanente, y en diversos componentes más pequeños variables con el tiempo relacionados con la actividad solar o los eventos atmosféricos.

1.3.2 Fuentes antropogénicas

Los campos magnéticos estáticos y los variables en el tiempo que se originan en fuentes antropogénicas suelen tener una intensidad mucho mayor que los campos naturales. Esto es cierto en particular para las fuentes que operan en frecuencias de poder de 50 ó 60 Hz (p.ej., los aparatos domésticos), en las cuales ocurren campos de muchos órdenes de magnitud superiores a los campos naturales en las mismas frecuencias. Se encuentran otras fuentes antropogénicas en los procedimientos de la investigación, industriales y médicos, y otras en equipos relacionados con la producción y el transporte de energía. En el Cuadro 1, se muestra una lista de los aparatos que dan origen a campos magnéticos. En el Cuadro 2, se señalan las densidades aproximadas del flujo magnético cerca de algunos aparatos eléctricos de 60 Hz.

En el Cuadro 3, se dan algunas de las fuentes de campos magnéticos, así como sus niveles de exposición ocupacional.

En medicina, se utiliza la imagen de resonancia magnética (IRM) para propósitos diagnósticos e incluye campos magnéticos tanto estáticos como variables en el tiempo. La IRM aplicada a tejidos vivos brinda una nueva técnica prometedora

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES

para la imagen médica con alta resolución espacial. Se emplean campos magnéticos estáticos de hasta 2T y la rápida modificación de los campos de gradiente produce cambios de campo de hasta 20 T/s

Se utilizan los campos magnéticos pulsátiles (campo promedio, 0.3 mT; campo pico, alrededor de 2.5 mT) para aumentar la curación de heridas y la regeneración tisular, y para tratar a los pacientes que sufren de fracturas óseas que no curan bien.

Cuadro 1. Aplicaciones que dan origen a campos magnéticos

Tecnologías de energía

- Reactores de fusión termonuclear
- Sistemas magnetohidrodinámicos
- Sistemas de almacenamiento de energía de imán superconductor
- Generadores de superconducción
- Líneas de transmisión

Medios de investigación

- Cámaras de burbuja
- Espectrómetros superconductores
- Aceleradores de partículas
- Unidades de separación de isótopos

Industria

- Producción de aluminio
- Procesos electrolíticos
- Producción de imanes y materiales magnéticos

Transporte

- Vehículos elevados magnéticamente

Medicina

- Resonancia magnética
- Aplicaciones terapéuticas

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES

Cuadro 2. Densidades del flujo magnético de 60 Hz cerca de diversos aparatos en los E.U.A. ^(a)

Aparato	Densidad del flujo magnético (μT) a diversas distancias		
	3 cm	30 cm	1 m
Abrelatas	1000-2000	3.5-30	0.07-1
Secadores de pelo	6-2000	<0.01-7	<0.01-0.3
Rasuradoras eléctricas	15-1500	0.08-9	<0.01-0.3
Sierras vertical y circular	250-1000	1-25	0.01-1
Taladros	400-800	2-3.5	0.08-0.2
Aspiradoras	200-800	2-20	0.13-2
Batidoras	60-700	0.6-10	0.02-0.25
Lámparas fluorescentes de escritorio	40-400	0.5-2	0.02-0.25
Trituradores de basura	80-250	1-2	0.03-0.1
Hornos de microondas	75-200	4-8	0.25-0.6
Artefactos fluorescentes	15-200	0.2-4	0.01-0.3
Hornillo eléctrico	6-200	0.35-4	0.01-0.1
Calentadores portátiles	10-180	0.15-5	0.01-0.25
Licadoras	25-130	0.6-2	0.03-0.12
Televisiones	2.5-50	0.04-2	<0.01-0.15
Hornos eléctricos	1-50	0.15-0.5	0.01-0.04
Lavadoras de ropa	0.8-50	0.15-3	0.01-0.15
Planchas	8-30	0.12-0.3	0.01-0.025
Ventiladores y compresores	2-30	0.03-4	0.01-0.35
Cafeteras	1.8-25	0.08-0.15	<0.01
Lavadoras de platos	3.5-20	0.6-3	0.07-0.3
Tostadores	7-18	0.06-0.7	<0.01
Ollas eléctricas	1.5-8	0.08-0.15	<0.01
Secadoras de ropa	0.3-8	0.08-0.3	0.02-0.06
Refrigeradores	0.5-1.7	0.01-0.25	<0.01

^(a) Los lectores interesados en las fuentes de esta información deberán referirse al "Environmental Health Criteria" (Criterios de Salud Ambiental) 69: "Magnetic fields" (Campos magnéticos), Geneva, World Health Organization, 1987.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y APLICACIONES

Cuadro 3. Fuentes ocupacionales de exposición a campos magnéticos ^a

Fuente	Densidades del flujo magnético (mT)	Distancia (m)
VDTs	superior a -2.8×10^{-4}	0.3
Arcos de soldadura (0-50 Hz)	0.1-5.8	0-0.8
Calentadores por inducción (50-10 Hz)	0.9-65	0.1-1
Caldero de colada de reactor 50 Hz	0.2-8	0.5-1
Reactor de arco de 50 Hz	superior a -1	2
Agitador por inducción de 10 Hz	0.2-0.3	2
Soldadura de escoria eléctrica de 50 Hz	0.5-1.7	0.2-0.9
Proceso electrolítico (0-50 Hz)	7.6 (promedio)	Posición del operador
Separación de isótopos (campos estáticos)	1-50	Posición del operador

^a Los lectores interesados en las fuentes de esta información deberán referirse al "Environmental Health Criteria" (Criterios de Salud Ambiental) 69: "*Magnetic Fields*" (Campos magnéticos), Geneva, World Health Organization, 1987.

2. RESUMEN Y EVALUACIÓN

2.1 Exposición Humana a los Campos Magnéticos

Aparte de la exposición de origen natural proveniente de la tierra y de la atmósfera, cualquier persona que se encuentre cerca de una fuente de electricidad (flujo de corriente eléctrica) está expuesta a campos magnéticos. La población general está expuesta a los campos magnéticos a causa de los aparatos domésticos, de los sistemas de distribución de la energía eléctrica y de los aparatos médicos especializados. Los trabajadores están expuestos en todas las industrias que utilizan energía eléctrica, en especial las que tienen grandes consumos eléctricos para la fabricación. Ciertas plantas de producción de energía, medios de investigación, tipos de transporte y aplicaciones médicas tienen el potencial de exponer a las personas a campos magnéticos relativamente intensos.

2.2 Mecanismos de Interacción

Existen tres mecanismos físicos establecidos por medio de los cuales los campos magnéticos estáticos y los variables en el tiempo interactúan con la materia viva.

2.2.1 Inducción magnética

Este mecanismo es importante para los campos estáticos y los variables en el tiempo, y puede ser el resultado de diversos tipos de interacción.

(a) *Interacciones electrodinámicas con electrolitos en movimiento*

Los campos estáticos y los variables en el tiempo ejercen fuerzas sobre las ondas portadoras en movimiento de una carga iónica, y de esta manera dan origen a campos y corrientes eléctricos inducidos. Esta interacción es la base de los potenciales del flujo sanguíneo inducido magnéticamente que han sido estudiados bajo la influencia de campos tanto estáticos como variables en el tiempo.

(b) *Corrientes Faraday*

Los campos magnéticos variables con el tiempo inducen corrientes (corrientes parásitas de Foucault) en el tejido vivo de acuerdo con la ley de inducción de Faraday. La evidencia disponible sugiere que este mecanismo puede ser la base de diversos efectos en los tejidos excitables por electricidad, incluyendo la estimulación visuo-sensorial que producen los magnetofosfenos. Además, la evidencia indirecta sugiere que los campos magnéticos de rápida variabilidad en el tiempo, puedan ejercer efectos sobre una diversidad de sistemas celulares y tisulares al inducir corrientes locales que excedan los niveles que ocurren en forma natural.

RESUMEN Y EVALUACIÓN

2.2.2 Efectos magnetomecánicos

Un campo magnético estático ejerce dos tipos de efecto mecánico en los objetos biológicos.

(a) Orientación magnética

En un campo estático uniforme, las moléculas tanto las diamagnéticas como las paramagnéticas experimentan un momento de torsión que tiende a orientarlas con el campo.

(b) Traslación magnetomecánica

La variación en la intensidad de un campo magnético estático con la distancia produce una fuerza neta sobre materiales paramagnéticos y ferromagnéticos que lleva a un movimiento de traslación. Debido a la cantidad limitada de material magnético en la mayor parte de los objetos vivos, la influencia de este efecto en las funciones biológicas es insignificante.

2.2.3 Interacciones electrónicas

Ciertas clases de reacciones químicas incluyen estados intermedios de electrones de radicales en los cuales las interacciones con un campo magnético estático producen un efecto en estados de rotación electrónica. Es posible que el lapso de vida habitual de los estados intermedios de electrones, importantes desde el punto de vista biológico, sean lo suficientemente cortos para que las interacciones del campo magnético ejerzan sólo una pequeña influencia, quizá insignificante, en el rendimiento de los productos de reacción química.

2.3 Efectos en los Animales y en Diversos Organismos

Algunos organismos son sensibles a un campo magnético estático con una baja intensidad comparable a la del campo geomagnético (alrededor de 50 mT). Los fenómenos para los cuales se dispone de evidencia experimental considerable de la sensibilidad al campo terrestre incluyen.

- el encontrar la dirección en el pez elasmobranquio (tiburón, raya y manta raya);
- la orientación y dirección del nado de bacterias magnetotácticas;
- los movimientos cinéticos de los moluscos;

RESUMEN Y EVALUACIÓN

- los patrones migratorios de las aves; y
- el baile oscilante de las abejas.

La información experimental disponible sobre la respuesta de los organismos, incluyendo a mamíferos que viven bajo tierra, a los campos magnéticos estáticos y los variables en el tiempo indica que los tres efectos biológicos señalados a continuación pueden ser considerados como fenómenos establecidos:

- la inducción de potenciales eléctricos dentro del sistema circulatorio;
- la inducción de magnetofosfeno por campos magnéticos pulsátiles y variables en el tiempo con una proporción de cambio en tiempo superior a 1.3 T/s, o por campos sinusoidales de 15-60 Hz e intensidades de campo que fluctúan entre 2 y 10 mT (dependiente de la frecuencia); y
- la inducción de campos variables en el tiempo de una amplia variedad de alteraciones celulares y tisulares, cuando la densidad de la corriente inducida excede los 10 mA/m²; muchos de estos efectos parecen ser la consecuencia de las interacciones con los componentes de la membrana celular.

Para los campos magnéticos estáticos con densidades de flujo de menos de 2 T, un conjunto de datos experimentales indica la ausencia de efectos irreversibles en muchas variables del desarrollo, conductuales y fisiológicas en organismos superiores. Al resumir a grandes rasgos, se encuentra que la evidencia disponible sugiere que las siguientes nueve clases de funciones biológicas no son afectadas en forma significativa por los campos magnéticos estáticos en niveles de hasta 2T: el crecimiento celular, la reproducción, el desarrollo pre y postnatal, la actividad bioeléctrica de neuronas aisladas, la conducta, las funciones cardiovasculares (exposiciones agudas), el sistema de formación sanguínea y la sangre, las funciones del sistema inmunológico y la regulación fisiológica, así como los ritmos circadianos.

Para los campos magnéticos variables en el tiempo, se han llevado a cabo pocos estudios sistemáticos para definir las características del umbral del campo con relación a la producción de las perturbaciones significativas de las funciones biológicas. Sin embargo, la evidencia disponible sugiere que los campos magnéticos variables en el tiempo deben inducir densidades de corriente superiores a 10 mA/m² en tejidos y líquidos extracelulares, de tal manera que se produzcan alteraciones importantes en el desarrollo, la fisiología y la conducta de los organismos superiores intactos. En estudios *in vitro*, se han reportado diversos fenómenos en el índice de 1 a 10 mA/m², pero no se ha determinado su importancia para la salud. No obstante, debe observarse que las aplicaciones terapéuticas hacen uso de campos magnéticos con este índice.

RESUMEN Y EVALUACIÓN

2.4 Efectos en los Seres Humanos

2.4.1 Campos magnéticos estáticos

Los estudios realizados en la U.R.S.S., en los trabajadores que participan en la manufactura de imanes permanentes indicaron diversos síntomas subjetivos y trastornos funcionales. Sin embargo, la carencia de un análisis estadístico o de una evaluación del impacto de los peligros físicos o químicos en el ambiente laboral reduce en forma importante, el valor de estos reportes. Aunque las investigaciones no son concluyentes, sugieren que si ocurren efectos a largo plazo, son muy sutiles, puesto que no hay evidencia de efectos manifiestos acumulativos.

Los estudios epidemiológicos recientes realizados en los E.U.A no han revelado efectos importantes en la salud asociados con la exposición a largo plazo a campos magnéticos estáticos de hasta 2 T.

Se reportó que los trabajadores expuestos a grandes campos magnéticos estáticos en la industria del aluminio tenían una tasa de mortalidad por leucemia elevada. Aunque estos estudios sugieren un mayor riesgo de cáncer en las personas que participan en forma directa en la producción del aluminio, hoy en día no hay una evidencia clara que indique cuáles son los factores carcinogénicos responsables dentro del ambiente laboral

2.4.2 Campos magnéticos variables en el tiempo

Los campos magnéticos variables en el tiempo generan corrientes eléctricas internas. Por ejemplo, los campos con una velocidad de cambio en el tiempo de 3 Ts pueden inducir densidades de corriente de aproximadamente 30 mA/m² alrededor del perímetro de la cabeza humana. Las densidades de la corriente eléctrica inducida pueden utilizarse como el parámetro decisivo en la evaluación de los efectos biológicos a nivel celular

En las peores condiciones, es posible calcular, por lo menos dentro de un orden de magnitud, la densidad del flujo magnético que produciría densidades de corriente potencialmente peligrosas en los tejidos. Se pueden hacer las siguientes afirmaciones sobre los índices de la densidad de la corriente inducida y sobre las densidades correlacionadas del flujo magnético de un campo homogéneo sinusoidal, que produce efectos biológicos con una exposición de cuerpo entero:

- Entre 1 y 10 mA/m² (inducido por campos magnéticos de más de 0.5-5 mT a 50/60 Hz, o a 10-100 mT a 3 Hz), se han reportado efectos biológicos menores.
- Entre 10 y 100 mA/m² (de más de 5-50 mT a 50/60 Hz o de 100-1000 mT a 3Hz), hay efectos bien establecidos, que incluyen efectos visuales y del sistema

RESUMEN Y EVALUACIÓN

nervioso. Se han reportado mejorías en la reunión de fracturas óseas

- Entre 100 y 1000 mA/m² (de más de 50-500 mT a 50/60 Hz o de 1-10 T a 3 Hz), se observa estimulación del tejido excitable y existen posibles peligros para la salud.
- A más de 1000 mA/m² (superior a 500 mT a 50/60 Hz o a 10 T a 3 Hz), se han establecido extrasístoles y fibrilación ventricular, es decir, peligros agudos para la salud.

Se han realizado estudios de laboratorio en sujetos humanos expuestos a campos magnéticos sinusoidalmente variables en el tiempo. Ninguna de estas investigaciones reveló cambios clínicos o psicológicos adversos en los sujetos expuestos. El campo más fuerte utilizado en estos estudios con voluntarios humanos fue de 5-mT, 50 Hz al cual los sujetos fueron expuestos durante cuatro horas.

Tienen un interés particular los reportes epidemiológicos recientes que presentan datos preliminares indicativos de un incremento en la incidencia de cáncer en niños, adultos y grupos ocupacionales. En otros estudios epidemiológicos, no se reportaron aumentos aparentes de defectos genéticos o de gestaciones anormales. Los estudios que mostraron un exceso de cáncer en niños y adultos sugieren una asociación con la exposición a campos magnéticos muy débiles de 50 ó 60 Hz (0.1-1 μ T) que tienen la intensidad que suele encontrarse en el medio ambiente. Estas asociaciones no pueden explicarse en forma satisfactoria por medio de la base teórica disponible para la carcinogénesis por campos magnéticos variables en el tiempo. La naturaleza preliminar de la evidencia epidemiológica, y el incremento relativamente pequeño en la incidencia reportada, sugieren que, aunque no pueden desecharse estos datos epidemiológicos, antes de aceptarlos deberá disponerse de una cantidad considerable de estudios.

3. CONCLUSIONES

3.1 Campos Estáticos

La evidencia disponible indica la ausencia de efectos adversos en la salud humana debidos a la exposición a los campos magnéticos de hasta 2 T. No es posible establecer una afirmación definitiva acerca de los posibles peligros asociados con la exposición a campos de más de 2 T. Con base en consideraciones teóricas y en algunos datos experimentales, pudiera inferirse que la exposición a corto plazo a campos estáticos de más de 5 T puede producir efectos perjudiciales importantes en la salud.

3.2 Campos Variables en el Tiempo

A partir de los datos disponibles sobre la exposición humana a campos magnéticos variables en el tiempo, puede concluirse que las densidades de la corriente inducida inferiores a 10 mA/m^2 , no han demostrado producir algún efecto biológico importante. En la escala de 10 a 100 mA/m^2 (de campos de más de 5 a 50 mT a 50/60 Hz), se ha establecido que la exposición a corto plazo (pocas horas) a estas densidades de corriente inducida pueden causar efectos transitorios menores en la salud. Hoy en día, se desconocen las consecuencias para la salud de la exposición a estos niveles durante muchas horas, días o semanas. A más de 100 mA/m^2 (superior a 50 mT a 50/60 Hz), se exceden diversos umbrales de estimulación y pueden ocurrir peligros para la salud.

4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

4.1 Reducción de la Exposición

En general, existen dos tipos de técnicas disponibles para reducir al mínimo la exposición innecesaria a campos magnéticos de alta intensidad.

(a) Distancia y tiempo

Limitar el acceso humano a y/o la duración de la permanencia en los lugares en los cuales las intensidades del campo son altas. Puesto que la densidad del flujo magnético externo disminuye con la distancia de la fuente, la distancia de separación es una medida fundamental de protección.

(b) Blindaje magnético

El uso de materiales con centro ferromagnético limita la extensión espacial de las líneas del flujo externo de un aparato magnético. Los recubrimientos externos de los materiales ferromagnéticos “capturan” también las líneas de flujo y reducen las densidades del flujo externo. No obstante, el blindaje suele ser caro y de uso limitado para los instrumentos científicos. Además, en general no se ha demostrado que sea costo-efectivo en las grandes instalaciones en comparación con el uso de una distancia de separación.

4.2 Seguridad

Dos aspectos de la seguridad del campo magnético que merecen atención especial son la influencia potencial de estos campos en el funcionamiento de los aparatos electrónicos y el riesgo de lesiones debido a las grandes fuerzas ejercidas sobre los objetos ferromagnéticos en gradientes intensos de los campos magnéticos estáticos.

(a) Marcapasos cardiaco

Los campos magnéticos tanto estáticos como variables en el tiempo pueden interferir con el funcionamiento apropiado de los marcapasos modernos. Algunos marcapasos se pueden invertir de un modo de operación sincrónico a uno asincrónico en los campos variables en el tiempo con velocidades de cambio en el tiempo superiores aproximadamente a 40 mT/s. Algunos modelos de marcapasos operan también en forma anormal como resultado del cierre de un interruptor de relevo de lengüetas (reed relay switch) en los campos magnéticos estáticos que exceden 1 7-4.7 mT. Los campos magnéticos pueden afectar también el funcionamiento de otros aparatos de monitoreo electrónico médico, tales como el equipo electroencefalográfico y el electrocardiográfico.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN

(b) Implantes metálicos

La sensibilidad a los campos magnéticos de los aparatos quirúrgicos implantados depende de su composición de aleación. Un gran número de aparatos metálicos, tales como los dispositivos intrauterinos, las abrazaderas quirúrgicas, las prótesis, las agujas de infusión y los catéteres pueden tener un momento torsional importante ejercido en ellos por los intensos gradientes del campo magnético. Esto puede llevar a consecuencias graves provocadas por su desplazamiento. Todas las personas que penetren a ambientes de campo magnético deberán ser seleccionadas con cuidado y, si es necesario, se debe prohibir su acceso.

(c) Peligros por objetos paramagnéticos sueltos

Dependiendo del peso y de la forma de un objeto paramagnético sujeto a un intenso campo magnético, se puede volver un proyectil con un gran impulso. Debe tenerse cuidado de excluir objetos tales como, por ejemplo, tijeras, escalpelos y herramientas manuales de la cercanía de fuentes de campo magnético intensas.

5. REGLAMENTOS, GUÍAS Y NORMAS ACTUALES

5.1 Campos estáticos

En el Cuadro 4, se dan los límites de exposición ocupacional a los campos magnéticos en la U.R.S.S., y en diversos laboratorios de aceleradores de los EUA.

5.2 Campos Variables con el Tiempo

La única norma nacional para los campos magnéticos variables en el tiempo es soviética. Esta norma, emitida por el Ministerio de Salud en 1985, se muestra en el Cuadro 5. Los límites de exposición a campos de onda continua de 50 Hz son equivalentes a 7.5 mT durante una hora y disminuyen al aumentar el tiempo a 1.8 mT para una permanencia de ocho horas en el campo.

5.3 Imagen de Resonancia Magnética (IRM)

Durante el procedimiento de imagen, que puede durar más de una hora, el paciente permanece acostado sobre una mesa y todas las partes del cuerpo están expuestas a intensos campos magnéticos estáticos, a campos magnéticos cambiantes (o variables en el tiempo), y a una radiación de radiofrecuencia. Se superponen campos de gradientes modificados con rapidez al campo estático para poder obtener información espacial.

Las guías sobre la exposición a los campos magnéticos estáticos y variables en el tiempo para el examen clínico de los pacientes durante la IRM han recibido la atención especial de diversas autoridades nacionales y se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 4. Límites de exposición ocupacional a campos magnéticos estáticos

Autor	Campo	Tiempo de exposición	Región del cuerpo	Comentarios
URSS (1978)	0.01 T	8 hr	cuerpo completo	Reglamento emitido por el Ministerio de Salud
Stanford Lineal Acelerador Centro (1970)	0.02 T	extendido (h)	cuerpo completo	No oficial, ocupacional
	0.2 T	corto (min)	cuerpo completo	
	0.2 T	extendido (h)	brazos, manos	
	2 T	corto (min)	brazos, manos	
Departamento de Energía de los EUA (DOE) (Alpen, 1979)	0.01 T	8 h	cuerpo completo	Recomendado a los contratistas del DOE
	0.1 T	1 h ó menos	cuerpo completo	
	0.5 T	10 min ó menos	cuerpo completo	
	0.1 T	8 h	brazos, manos	
	1 T	1 h ó menos	brazos, manos	
2 T	10 min ó menos	brazos, manos		
Laboratorio Acelerador CERN, Ginebra (NRPB, 1981)	0.2 T	minutos	cuerpo completo	Práctica recomendada
	2 T	corto	brazos, manos y pies	
Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (LLNL, 1985)	0.06 T	día	tronco	Promedio máximo/día en campos pico > 0.5 T Promedio máximo/semana en campos pico < 0.5 T Promedio máximo/semana (en campos pico < 0.5 T) 'T) o por día (en campos pico >0.5 T) Límite pico de exposición
	0.06 T	día	tronco	
	0.6 T	día	extremidades	
	2 T	corto (min)	cuerpo completo	

REGLAMENTOS, GUÍAS Y NORMAS ACTUALES

Cuadro 5. Niveles máximos permisibles de campos magnéticos con una frecuencia de 50 Hz ^(a)

Duración de la exposición (h)	Intensidad del campo magnético (A/m)		
	Campos magnéticos continuos y pulsátiles con amplitud de pulso $t_w \geq 0.02$ s y pausa $t_p \leq 2$ s	Campo magnético pulsátil 60 s $\geq t_w \geq 1$ s $t_p > 2$ s	Campo magnético pulsátil 0.02 s $\leq t_w < 1$ s $t_p > 2$ s
1	6000	8000	10000
1.5	5500	7500	9500
2	4900	6900	8900
2.5	4500	6500	8500
3	4000	6000	8000
3.5	3600	5600	7600
4	3200	5200	7200
4.5	2900	4900	6900
5	2500	4500	6500
5.5	2300	4300	6300
6	2000	4000	6000
6.5	1800	3800	5800
7	1600	3600	5600
7.5	1500	3500	5500
8	1400	3400	5400

^(a) Nota: Se utilizan los regímenes anteriores de exposiciones pulsátiles en soldadura.
 t_w es la duración de la amplitud del pulso,
 t_p es la duración de la pausa del pulso.

REGLAMENTOS, GUÍAS Y NORMAS ACTUALES

Cuadro 6 Guías sobre la exposición al campo magnético en el uso clínico de la resonancia magnética

País ^a	Campos estáticos	Campos variables con el tiempo
E.U.A. (CDRH)	Paciente - exposición de cuerpo completo o parcial a 2T	Paciente - exposición de cuerpo completo y parcial a 3 T/s *
La exposición que exceda estos límites deberá ser evaluada en cada caso		
Reino Unido (NRPB)	Operador - 0.02 T (largos períodos, cuerpo completo); 0.2 T (largos períodos, brazos, manos); 0.2 T (15 min., cuerpo completo); 2 T (15 min, brazos, manos) Paciente y voluntarios - 2.5 T (exposición de cuerpo completo y parcial)	Paciente y voluntarios - períodos de 20 T/s (rms) de cambio de campo magnético ó 10 ms o bien (dB/dt) ² t < 4 (rms) para una duración de cambio de campo magnético < 10 ms en donde dB/dt en T/s y t en s
República Federal de Alemania (FHO)	Paciente - 2 T (exposición de cuerpo completo y parcial)	Paciente - exposición de cuerpo total o parcial: densidad máxima de corriente inducida Intensidad del campo eléctrico de 30 mA/m ² o de 0.3 V/m para una duración de cambio de campo magnético de 10 ms o superior o bien V/m de (300/t) mA/m ² o de (3/t) para una duración de cambio de campo magnético (t) inferior a 10 ms (t en ms)
Salud y Bienestar del Canadá	Operador - 0.01 T (cuerpo completo durante el día de trabajo) - > 0.01 T (mantener al mínimo) Paciente - 2 T (exposición de cuerpo completo y parcial)	Paciente - 3 T/s (rms)

^a CDRH = Centro para Aparatos y Salud Radiológica, Rockville, Maryland, EUA.

NRPB = Consejo Nacional de Protección Radiológica, Reino Unido

FHO = Oficina Federal de Salud, República Federal de Alemania.

BIBLIOGRAFÍA

ALPEN, E.L. (1979) Magnetic field exposure guidelines. In: Tenforde, T.S., ed. *Magnetic field effects on biological systems*. New York, London, Plenum Press, pp. 25-32.

LLNL (1985) *Working in magnetic fields*. Berkeley, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory (Health and Safety Manual).

NRPB (1981) Exposure to nuclear magnetic resonance clinical imaging. *Radiography*, 47 (563):258-260.

STANFORD LINEAR ACCELERATOR CENTER (1970) *Limits on human exposure to static magnetic fields*. Palo Alto, California.

USSR (1978) (*Maximum permissible levels of exposure to static magnetic fields at work with magnetic installations and magnetic materials.*) Moscow, Ministry of Public Health (Document No 1742-77) (in Russian).

ISBN 92 75 37080 X

ECO

Apartado Postal 37-473

06696 México, D.F. MÉXICO

Tels.: (52-72) 71-10-86; 71-10-91; 71-10-92; 71-10-93

Fax.: (52-72) 71-10-90

internet: "Editorial"<ecotol@infoabc.com>

o

ECO_Email@paho.org

Oficinas: Rancho Guadalupe sin número,

Metepc, Estado de México, C.P. 52140

MÉXICO 1996