

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE ELECTROMAGNETISMO**1. Introducción.**

El espectro de las ondas electromagnéticas se puede subdividir para este tipo de estudio en las cuatro áreas que se citan a continuación :

- Radiación de muy baja frecuencia, que comprende los campos eléctricos de hasta 30 KHz. Por ejemplo red eléctrica domiciliaria.
- Radiación de alta frecuencia, que comprende campos eléctricos de 30 KHz hasta 300 GHz. Por ejemplo radar.
- Radiación óptica. Por ejemplo espectro de luz visible, radiaciones infrarrojas y ultravioletas.
- Radiación ionizante. Por ejemplo rayos X.

Es decir que las radiaciones se extienden desde pocos Hertz hasta 10^{21} Hz. Si se compara con la longitud de onda la misma se extiende hasta un valor superior a los 18.000 km.

2. Unidades y conceptos físicos.

A continuación se describen en forma resumida algunas magnitudes físicas necesarias para una mejor comprensión de la radiación electromagnética.

- El campo eléctrico E entre dos puntos se manifiesta cuando existe una diferencia de potencial. La intensidad de campo eléctrico es función de la diferencia de potencial y de la distancia (V/m).

- La densidad de corriente eléctrica J es función de la corriente eléctrica y la superficie transversal de conducción (A/m^2).

• La densidad de campo magnético B existe en la proximidad a un imán definiéndose como una magnitud vectorial al depender, además de la superficie, de la orientación del flujo magnético. La dirección del vector B es desde el polo sur al polo norte y su magnitud es definida en Tesla ($T=Vs/m^2$).

• La intensidad de campo magnético H es una magnitud vectorial que tiene igual dirección y sentido que la densidad de flujo magnético B. La relación entre ambas se define de la siguiente forma;

$$B = \mu \cdot H \quad \text{donde } \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

μ_r : Es la permeabilidad relativa respecto al vacío.

μ_0 : Es la permeabilidad absoluta del vacío
 $1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$

La magnitud del vector intensidad de campo magnético H es función de la corriente eléctrica y la distancia (A/m). Los efectos que producen los campos electromagnéticos sobre el tejido vivo en la banda de frecuencias no ionizantes, según E. D. Alvarez, 1987, indican la interacción de este tipo de onda con los sistemas orgánicos, pudiendo clasificarse sus efectos en térmicos y no térmicos al cubrir la banda desde 0 Hz a 1.000 Hz, y la parte que limita con el infrarrojo.

Además de los puestos de trabajo en la proximidad a los radares, se destaca la actividad de los operarios que utilizan equipos de calentamiento por radio frecuencia en la industria para la soldadura de plásticos, fundir pegamentos, sellar envases, fabricar prendas de PVC, etc.

La Figura N°1, basada en J. Silny, 1990, describe el comportamiento de la propagación electromagnética en el cuerpo humano mediante la aplicación del modelo de ondulatorio de la propagación de energía de ondas transversales.

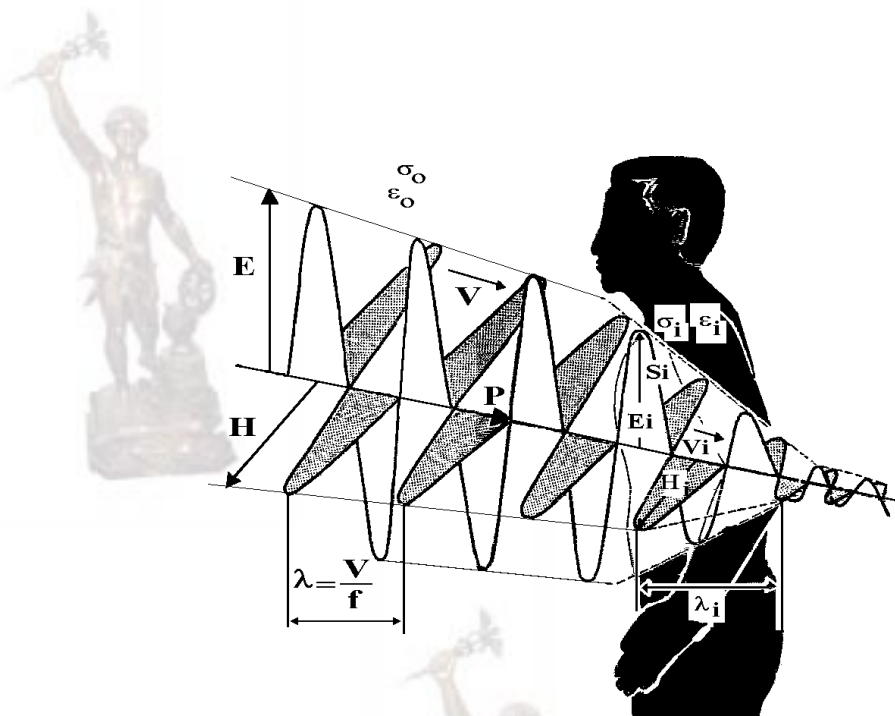


Figura N° 1 Efectos de propagación de las ondas electromagnéticas

Este tipo de ondas transversales se manifiesta gráficamente por la adopción perpendicular de la intensidad de campo eléctrico E y la intensidad de campo magnético H .

La onda electromagnética penetra en el cuerpo humano, donde es fuertemente amortiguada. Esto último se debe fundamentalmente a la diferencia de las propiedades eléctricas del cuerpo humano, tales como la permitividad ϵ_i y la conductividad σ_i , siendo las de aire ϵ_0 y σ_0 . La energía transportada por la onda electromagnética, interpretada como el producto de las intensidades E y H es en gran parte absorbida por el cuerpo humano, el cual se comporta como un dieléctrico, y finalmente es transformada en calor.

Debido a este comportamiento hay partes del cuerpo humano, como por ejemplo; tejidos musculares y órganos con alto contenido de líquidos, que tienen un mayor poder de absorción de energía que la piel, los huesos o tejidos grasos.

La longitud de onda y la frecuencia son otras de las magnitudes de interés. La longitud de onda λ se define como el cociente entre la velocidad de propagación v y la frecuencia de oscilación f .

La velocidad de propagación v es definido como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío c_0 , de aproximadamente $2,99 \cdot 10^8$ m/s, y la raíz cuadrada del coeficiente dieléctrico relativo ϵ_r , que para el vacío es igual a la unidad, para el aire muy próximo a la unidad y para el agua, como así también para la masa corporal tiene un valor aproximado de 82.

Se considera la velocidad aproximada en el cuerpo humano $3,34 \cdot 10^7$ m/s, reduciéndose en el mismo la longitud de la onda en un factor de 10 con respecto al aire.

La energía absorbida por el cuerpo humano, según O. Gandhi, 1980₂, depende de la orientación del campo eléctrico E de la onda incidente, de la frecuencia y de las condiciones específicas de entorno que hacen o no a la existencia de planos de tierra y superficies reflectoras.

3. Las radiaciones de baja frecuencia.

Uno de los estudios, de los valores límites pico y los valores efectivos de intensidad de campo eléctrico en tanto y los valores límites pico y los valores efectivos de intensidad de campo magnético en el rango de frecuencias, que abarca hasta los 30 kHz de acuerdo a la norma DIN/VDE 0848.

4. Radiación ionizante.

Pertenecen a la radiación ionizante, además de la radiación electromagnética de los rayos X y la radiación γ , la radiación de partículas denominadas radiación α , radiación β y radiación de neutrones.

• **Radiación de rayos X:** Los rayos X son una forma de radiación electromagnética que tiene una frecuencia extremadamente alta y por consiguiente una muy corta longitud de onda, es decir que cuenta con la suficiente energía para posibilitar procesos de ionización.

Los procesos de ionización son llevados a cabo por rotura de moléculas o por electrones extraídos de la materia. Este tipo de radiación se obtiene en un tubo al vacío donde la diferencia de potencial entre cátodo y ánodo es de más de 100 kV, hace que el ánodo trabaje con una efectividad de aproximadamente el 1%. Es decir que el 99% restante se transforma en calor. Este tipo de radiación es aplicada en diagnósticos y terapias médicas, prueba de materiales y análisis de estructura cristalina y molecular.

• **Radiación g:** Físicamente es idéntica a los rayos X. Se origina dentro del núcleo del átomo, por ejemplo por desintegración radiactiva del núcleo atómico. Es decir que la radiación gamma es un producto adicional de la radiación de partículas que intenta alcanzar un estado menor de energía, como lo que ocurre con el cobalto inestable que se transforma en níquel estable.

• **Radiación a:** Se origina a partir de la desintegración de núcleos de átomos pesados como el Helio (He). En el caso de la desintegración del Radio (Ra-226) en Radon (Rd-222) más un núcleo de He, se produce emisión radiactiva de partículas que pueden producir procesos de ionización a una distancia de 8cm a 9 cm.

• **Radiación b:** Básicamente se trata de una carga negativa (electrón) o de una partícula como así también de una partícula con carga positiva (positrón) que queda libre cuando un neutrón de un núcleo atómico se transforma en un protón. La generación de éste tipo de radiación se lleva a cabo por medio a aceleradores de partículas denominados Betrones, siendo empleados para tratamiento médico de tumores de piel

• **Radiación de neutrones:** Es una radiación de neutrones que se generan en el proceso de desintegración de un isotopo inestable o bien por fisión de un isotopo inestable que se transforma en dos elementos más livianos.

La radiación de neutrones no produce por si sola una ionización pero es de alto riesgo al poder atravesar la materia y dar lugar a una radiación secundaria de partículas.

• **Radiación cósmica:** Se trata de una radiación muy fuerte del orden de 10^8 eV a 10^{20} eV (artificialmente se pueden lograr aceleraciones del orden 10^{12} eV) que afecta a nuestro planeta, la que está compuesta de protones (ca. 86%), radiación Alfa (ca. 12,5%) y otros núcleos atómicos (ca. 1,5%). La protección terrestre es llevada a cabo por las denominadas fuerzas de Lorenz que actuan en el campo magnético terrestre. N. Leitgeb, 1990.

5. Consideraciones normativas de las radiaciones no ionizantes.

La Ley de Higiene y Seguridad de la República Argentina N°19.587 en el Anexo I de la reglamentación aprobada por decreto 351/79, Título I, Disposiciones Generales, Capítulo 10, en su artículo 63, cita lo siguiente:

5.1. Radiaciones infrarojas.

5.1.1. En los lugares de trabajo en que exista exposición intensa a radiaciones infrarojas, se instalarán tan cerca de las fuentes de origen como sea posible pantallas absorbentes, cortinas de agua u otros dispositivos apropiados para neutralizar o disminuir el riesgo.

5.1.2. Los trabajadores expuestos frecuentemente a estas radiaciones serán provistos de protección ocular. Si la exposición es constante, se dotará además a los trabajadores de casco con visera o máscara adecuada y de ropas ligeras y resistentes al calor.

5.1.3. La pérdida parcial de luz ocasionada por el empleo de anteojos, viseras o pantallas absorbentes será compensada con un aumento de la iluminación.

5.1.4. Se adoptarán las medidas de prevención médica oportunas, para evitar trastornos de los trabajadores sometidos a estas radiaciones.

5.2. Radiaciones ultravioletas nocivas.

5.2.1. En los trabajos de soldadura u otros, que presenten el riesgo de emisión de radiaciones ultravioletas nocivas en cantidad y calidad, se tomarán las precauciones necesarias. Preferentemente estos trabajos se efectuarán en cabinas individuales o compartimientos y, de no ser factible, se colocarán pantallas protectoras móviles o cortinas incombustibles alrededor de cada lugar de trabajo. Las paredes interiores no deberán reflejar las radiaciones.

5.2.2. Todo trabajador sometido a estas radiaciones será especialmente instruido, en forma repetida, verbal y escrita, acerca de los riesgos a que está expuesto y provisto de medios adecuados de protección como ser: anteojos o máscaras protectoras para las partes del cuerpo que queden al descubierto.

5.3. Microondas.

Las exposiciones laborales máximas a microondas en la gama de frecuencias comprendidas entre 100 MHz y 100 GHz son las siguientes:

5.3.1. Para niveles de densidad media de flujo de energía que no superen 10 mW/cm^2 el tiempo de exposición se limitará a 8 h/día (exposición continua).

5.3.2. Para niveles de densidad media de flujo de energía a partir de 10 mW/cm^2 , pero sin superar 25 mW/cm^2 , el

tiempo de exposición se limitará a un máximo de 10 minutos en cada período de 60 minutos durante la jornada de 8 horas (exposición intermitente).

5.3.3. Para niveles de densidad media de flujo de energía superiores a 25 mW/cm^2 , no se permite la exposición.

Es importante destacar el hecho que cuando se recibe un impacto, choque, golpe, etc. se aprecian daños visibles, no ocurriendo lo mismo con las radiaciones.

6. Consideraciones normativas de las radiaciones ionizantes.

La Ley de Higiene y Seguridad de la República Argentina N°19.587 en el Anexo I de la reglamentación aprobada por decreto 351/79, Título I, Disposiciones Generales, Capítulo 10, en su artículo 62, cita lo siguiente:

1. La Secretaría de Estado de Salud Pública de la Nación es la autoridad competente de aplicación de la ley 19587 en el uso o aplicación de equipos generadores de rayos X, con facultades para tramitar y expedir licencias y autorización que reglamenten la fabricación, instalación y operación de estos equipos y para otorgar licencias y autorizaciones a las personas bajo cuya responsabilidad se lleven a cabo dichas prácticas u operaciones.

2. La Comisión Nacional de Energía Atómica es la autoridad competente de aplicación de la ley 19587 en el uso o aplicación de materiales radiactivos, materiales nucleares y aceleradores de partículas cuyo fin fundamental no sea específicamente la generación de rayos X y radiaciones ionizantes provenientes de los mismos o de reacciones o transmutaciones nucleares, con facultades para tramitar y expedir licencias y autorizaciones específicas que reglamenten el emplazamiento, la construcción, la puesta en servicio, la operación y el cierre definitivo de instalaciones y para otorgar licencias y autorizaciones específicas a las personas cuya responsabilidad se

Lleven a cabo dichas prácticas u operaciones.

3. Ninguna persona podrá fabricar, instalar u operar equipos generadores de rayos X o aceleradores de partículas, ni elaborar, producir, recibir, adquirir, proveer, usar, importar, exportar, transportar o utilizar en ninguna forma materiales radiactivos, materiales nucleares, o radiaciones ionizantes provenientes de los mismos o de reacciones o transmutaciones nucleares sin previa autorización de la Secretaría de Estado de Salud Pública de la Nación o de la Comisión Nacional de Energía Atómica, según corresponda, de acuerdo a lo indicado en los incisos 1) y 2) del presente artículo.

4. La autoridad competente correspondiente, de acuerdo a lo establecido en los incisos 1) y 2) del presente artículo, deberá autorizar su operación y expedir una licencia en cada caso, donde constará el o los usos para los cuales se ha autorizado la instalación y los límites operativos de la misma.

5. La autoridad competente correspondiente, de acuerdo a lo establecido en los incisos 1) y 2) del presente artículo, promulgará cuando sea necesario las reglamentaciones, normas, códigos, guías, recomendaciones y reglas de aplicación a las que deberán ajustarse las instalaciones respectivas.

6. El certificado de habilitación, así como las reglamentaciones, normas, códigos, guías, recomendaciones y reglas que sean de aplicación en la instalación, deberán estar a disposición de la autoridad competente y del Ministerio de Trabajo de la Nación.

7. En aquellos casos en que el Ministerio de Trabajo de la Nación observara el incumplimiento de las disposiciones vigentes, cursará la comunicación respectiva a la autoridad competente correspondiente, solicitando su intervención.

8. Las instalaciones sólo podrán ser operadas bajo la responsabilidad directa de personas físicas especialmen

te licenciadas y autorizadas al efecto por la respectiva autoridad competente.

7. La radiación electromagnética en el equipamiento informático.

El tratamiento de éste tema se orienta básicamente a las tecnologías informatizadas, R. R. Rivas y R. Deza. 1994.

Es un hecho que el uso de medios de elaboración informáticos han modificado la condiciones de trabajo de la célula básica productiva determinada por el hombre, medio de elaboración y entorno como así también el ámbito educacional, familiar y de entretenimiento. Ante este fenómeno de cambio se observa una reducción de los niveles de consumo metabólico y coexistentemente un aumento en los niveles de atención, los cuales acarrear desordenes de carácter ergonómico.

Entre los problemas actuales en estudio se cuentan; efectos de discomfort visual, sufrimientos musculoesqueletales, desordenes en la piel, y reacciones a causa del estres. Debido a la complejidad del tema planteado, en este trabajo se realiza un tratamiento básico de los efectos que producen las unidades de visualización informática desde el punto de vista de las radiaciones electromagnéticas.

En las unidades de visualización basadas en el empleo de TRC se deben tener en cuenta las siguientes radiaciones:

- **Radiación de rayos X:** Los rayos X se producen dentro del TRC por la desaceleración rápida que sufren los electrones al chocar contra el fósforo de la cara interna de la pantalla del monitor. No obstante el espesor del vidrio del tubo es suficiente como para absorber energía de rayos X mucho mas elevada que la producida por un TRC evitando cualquier fuga de rayos X hacia afuera del tubo. Según la Asociación Internacional para la Radiación (International Radiation Protection Association, IRPA), no existe emisión detectable desde el display.

• **Campos electromagnéticos:** El fenómeno de propagación electromagnética puede ser descrito como una combinación ortogonal de campos eléctricos y magnéticos. Solamente es necesaria que sea medida una de estas componentes para que mediante una relación simple sea determinada la otra.

Generalmente se refieren a los generadores de barrido horizontal y vertical en las frecuencias de 15-50 KHz y 50-60 Hz respectivamente, como así también a los campos de 50-60 Hz generados por las fuentes de alimentación.

Los monitores del tipo TRC más modernos trabajan con barridos verticales del orden de 70-80 Hz para evitar problemas de parpadeo.

Si bien la base de datos es limitada no existe ninguna evidencia científica que indique que estos campos representen algún factor de riesgo para la salud del hombre publicado por el Comité Internacional de Radiación No-Ionizante (International Non-Ionizing Radiation Committee, INIRC) y la Asociación Internacional de Protección a la Radiación (International Radiation Protection Association, IRPA) como parte del Programa Internacional para el Mejoramiento de las Condiciones y Medio Ambiente de trabajo (Programme for the Improvement of Working Conditions and Environment, PIACT) de la Organización Internacional del Trabajo dirigido por B. Knave, 1994.

• **Campos electrostáticos:** Los campos electrostáticos han sido sugeridos como una de las posibles causas de desorden en la piel. Si bien es cierto que la concentración de iones en el aire es mayor, en el caso de puestos de trabajo con monitores TRC que en aquellos donde no hay, no existen correlaciones que determinen este fenómeno como magnitud condicionante de éste desorden dérmico.

La directiva de la Comunidad Económica Europea del año 1994, según la publicación Occupational Safety and Health

Series N° 70 de I.L.O (OIT), expresa que si se mantiene la humedad ambiente en un nivel no menor del 30% no dan lugar

a que ocurran altos niveles de campos electrostáticos.

8. Bibliografía.

1. Alvarez, E. D.: Análisis de los efectos de la exposición a radiaciones no ionizantes y de los riesgos implicados en el ámbito laboral. II Congreso Latinoamericano de Higiene y Seguridad. Buenos Aires, 1987.

2. Knave, B., Repacholi, M., Stolwijk, J., Stucly, M., Bergqvist, U.: Visual display units: Radiation protection guidance. Occupational Safety and Health Series No. 70. International Labour Office, Geneva, 1994.

3. Leitgeb, N.: Strahlen, Wellen, Felder - Ursachen und Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Stuttgart/München. Thieme Verlag, 1990.

4. Rivas, R. R., Deza, R. : El factor humano, las ondas electromagnéticas y la informática. "El punto de vista de algunos físicos". Revista de Ecología Médica y Salud Ambiental (R.E.M.S.A), 1994. ISSN 0328-2716.

5. Silny, J.: Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder. Deutsches Aertzblatt, 87, Heft 37, 1642-1647, 1990.

DIN/VDE 0848 parte 4, página 3 .

DIN 57848 parte 2

VDE 0848 parte 2, página 4.

Ley Nro. 19.587. Decreto reglamentario 351/79

Ing. Roque R. Rivas. roquerivas@hotmail.com - rrrivas@sinectis.com.ar