# Radiaciones no ionizantes

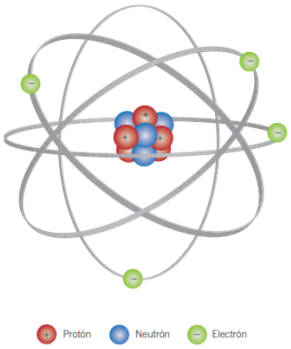
Se considera radiación no ionizante al tipo de radiación de baja energía que no tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula. De esta manera sus efectos sobre la salud son bastante distintos a los de las radiaciones ionizantes.

Dentro de estas radiaciones tendremos las generadas por: los campos electromagnéticos CEM (eléctricos y magnéticos estáticos, las de extremadamente baja frecuencia ELF, las de muy baja frecuencia LF, las radiofrecuencias RF, los microondas MO), y las ópticas (los infrarrojos IR, a luz visible, la ultravioleta UV y la laser).

- **Definiciones**
- **Tipos de radiaciones no ionizantes**
- **Fuentes de radiación**
- **Efectos sobre la salud de los CEM**
- **Efectos sobre la salud de las radiaciones ópticas artificiales RO: UV, Infrarrojo, Laser**
- **Medidas preventivas básicas**
- **Normativa**
- **FAQ's**

## Definiciones

Los conceptos básicos de higiene industrial sobre radiaciones:



Estructura del átomo.

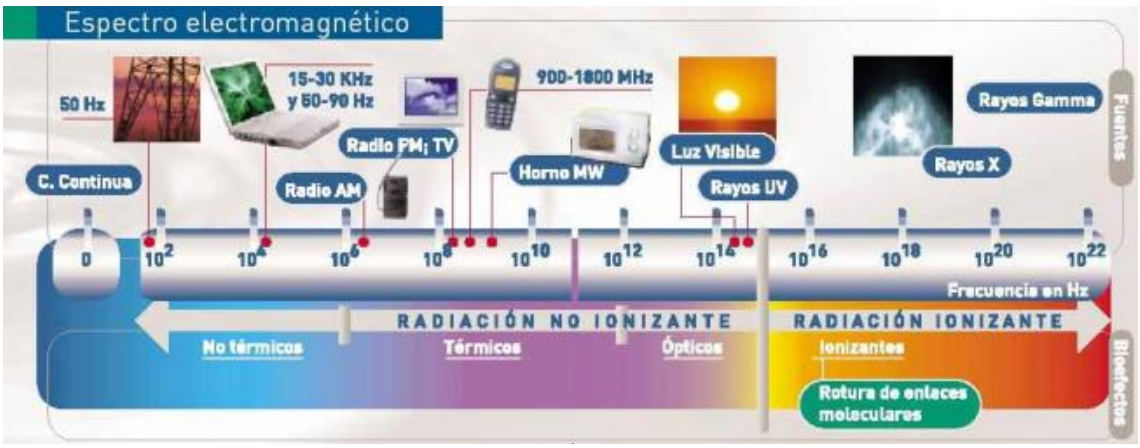
- ***Radiación:*** propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

- ***Radiación corpuscular:*** radiación transmitida en forma de partículas subatómicas (partículas $\alpha$, neutrones, etc.) que se mueven a gran velocidad con apreciable transporte de energía (Rayos X).

- ***Radiación electromagnética:*** radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas.

Forma de propagación de la energía cuyo origen se encuentra en cambios del nivel energético a nivel atómico o molecular. Se caracterizan por la existencia de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Las ondas electromagnéticas se diferencian unas de otras por la cantidad de energía que son capaces de transmitir, y ello depende de su frecuencia. El conjunto de todas ellas constituye el Espectro electromagnético.

- ***Espectro electromagnético:*** es el conjunto de radiaciones electromagnéticas que se propagan a través del espacio en forma de ondas. Para su estudio resulta útil dividirlo en bandas espectrales: rayos X, radiación ultravioleta, luz, ondas de radio, etc.




- ***Radiación ionizante:*** Transferencia de energía en forma de partículas u ondas electromagnéticas de una longitud de onda igual o inferior a 100 nm o una frecuencia igual o superior a 3 x $10^{15}$ hertzios (equivalente a 100 nm y a 12,4 eV), capaces de producir iones directa o indirectamente. Es la frontera entre la radiación ultravioleta y los rayos X. Radiaciones que transportan energía suficiente como para penetrar en la materia y arrancar los átomos que la constituyen (ionización) produciendo iones (moléculas cargadas eléctricamente). Por tanto los Campos Electro-Magnéticos CEM son radiaciones no ionizantes.

- ***Radiación no ionizante:*** Tipo de radiación de baja energía que no tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula.

- ***Campos electromagnéticos:*** los campos eléctricos estáticos, los campos magnéticos estáticos y los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, con frecuencias comprendidas entre 0 Hz y 300 GHz.

- ***Valores límite de exposición (VLE):*** los valores que se han establecido a partir de consideraciones biofísicas y biológicas, en particular sobre la base de efectos directos agudos y a corto plazo comprobados científicamente, por ejemplo los efectos térmicos y la estimulación eléctrica de los tejidos.

- ***Valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud (VLE relacionados con efectos para la salud):*** aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden sufrir efectos adversos para la salud, como el calentamiento o la estimulación de los tejidos nervioso y muscular.

- ***Valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales (VLE relacionados con efectos sensoriales):*** aquellos valores límite de exposición por encima de los cuales los trabajadores pueden estar sometidos a trastornos transitorios de las percepciones sensoriales y a pequeños cambios en las funciones cerebrales.

- ***Niveles de acción (NA):*** los niveles operativos establecidos para simplificar la demostración del cumplimiento de los valores límite de exposición correspondientes o, en su caso, para tomar las medidas de protección o prevención establecidas en el presente real decreto. La terminología relativa a los niveles de acción usada en el anexo II es la siguiente:

  1. Para los campos eléctricos, se entenderá por «niveles de acción inferiores» y «niveles de acción superiores» los niveles relacionados con medidas específicas de protección o prevención establecidas en este real decreto.

  2. Para los campos magnéticos, se entenderá por «niveles de acción inferiores» los niveles correspondientes a los VLE relacionados con efectos sensoriales y por «niveles de acción superiores» los correspondientes a VLE relacionados con efectos para la salud.

- ***Intensidad de campo eléctrico (E):*** magnitud vectorial que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios dividido por metro (V/m). Es preciso distinguir entre: «campo eléctrico ambiental» y «campo eléctrico in situ», inducido en el interior del organismo como resultado de la exposición al campo eléctrico ambiental.

- ***Intensidad de campo magnético (H):*** magnitud vectorial que, junto con la densidad de flujo magnético, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios dividido por metro (A/m).

- ***Densidad de flujo magnético o inducción magnética (B):*** magnitud vectorial definida en términos de fuerza ejercida sobre cargas en movimiento; se expresa en teslas (T). En el espacio libre y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indiferentemente según la equivalencia: $B= \mu_o H$ Siendo $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$, la permeabilidad magnética del vacío.

- ***Densidad de potencia (S):*** Es el cociente de la potencia radiante que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de esa superficie. Se expresa en watios dividido por metro cuadrado ($W/m^2$). Es una magnitud apropiada para expresar la exposición a frecuencias muy altas, donde la profundidad de penetración del campo en el cuerpo es baja.

- ***Corriente en las extremidades (IL):*** corriente en las extremidades de una persona expuesta a campos electromagnéticos dentro del intervalo de frecuencias comprendido entre 10 MHz y 110 MHz como resultado del contacto con un objeto en un campo electromagnético, o el flujo de las corrientes capacitivas inducidas en un cuerpo expuesto. Se expresa en amperios (A).

- ***Corriente de contacto (IC):*** corriente que aparece cuando una persona entra en contacto con un objeto en un campo electromagnético. Se expresa en amperios (A). Se produce una corriente de contacto en estado estacionario cuando una persona está en contacto continuo con un objeto en un campo electromagnético. En el proceso del establecimiento de dicho contacto, puede producirse una descarga en forma de chispas con corrientes transitorias asociadas.

- ***Carga eléctrica (Q):*** magnitud utilizada para medir las descargas en forma de chispa; se expresa en culombios (C).

- ***Absorción específica de energía (SA):*** es la energía absorbida por unidad de masa de tejido biológico; se expresa en julios dividido por kilogramo (J/kg). En este real decreto se utiliza para establecer límites para los campos pulsantes en la banda espectral de las microondas.

- ***Tasa de absorción específica de energía (SAR) sobre el cuerpo entero o sobre una parte localizada del mismo:*** es la tasa de energía que es absorbida por unidad de masa de tejido corporal. Se expresa en watios dividido por kilogramo (W/kg). El SAR de cuerpo entero es una medida ampliamente aceptada para relacionar los efectos térmicos adversos con la exposición a radiofrecuencias. Junto al SAR medio de cuerpo entero, los valores SAR locales son necesarios para evaluar y limitar la excesiva acumulación de energía localizada en pequeñas partes del cuerpo como consecuencia de unas condiciones especiales de exposición. Como ejemplo: la exposición de una persona a radiofrecuencias de pocos MHz (por ejemplo, de calentadores dieléctricos), o de personas expuestas al campo cercano de una antena.

- ***Radiación óptica:*** Toda radiación electromagnética cuya longitud de onda esté comprendida entre 100 nm y 1 mm. El espectro de la radiación óptica se divide en radiación ultravioleta, radiación visible y radiación infrarroja:

  1. Radiación ultravioleta: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 100 y 400 nm. La región ultravioleta se divide en UVA (315 - 400 nm), UVB (280 - 315 nm) y UVC (100 - 280 nm).

2.º Radiación visible: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 380 nm y 780 nm.

3.º Radiación infrarroja: La radiación óptica de longitud de onda comprendida entre 780 nm y 1 mm. La región infrarroja se divide en IRA (780 - 1.400 nm), IRB (1.400 - 3.000 nm) e IRC (3.000 nm - 1mm).

- **Láser (light amplification by stimulated emission of radiation amplificación de luz por emisión estimulada de radiación):** Todo dispositivo susceptible de producir o amplificar la radiación electromagnética en el intervalo de la longitud de onda de la radiación óptica, principalmente mediante el proceso de emisión estimulada controlada.
- **Radiación láser:** La radiación óptica procedente de un láser.
- **Radiación incoherente:** Toda radiación óptica distinta de una radiación láser.

- ***Energía radiante (Q):*** Es la energía emitida, transferida o recibida en forma de radiación. Su unidad de medida es el Joule (J).

- ***Flujo radiante (P):*** Es la cantidad total de energía radiante emitida por una fuente, transferida por una radiación, o que incide en una superficie en la unidad de tiempo. Su unidad es el Watt (W). En el espectro visible equivale a la magnitud denominada **Flujo luminoso** y su unidad es el lumen (lm).

- ***Intensidad radiante (I):*** Es el flujo radiante emitido por una fuente puntual de radiación por unidad de ángulo en una dirección determinada. Se mide en W/sr. Su equivalente para el espectro visible se denomina **Intensidad luminosa** y su unidad es la candela (Cd).

- ***Irradancia (E):*** Es el flujo radiante que incide sobre la unidad de superficie. Su unidad es el $W/m^2$ El equivalente fotométrico se llama **Iluminancia** y su unidad es el Lux (lx) que equivale al $lm/m^2$.

- ***Exitancia o emitancia radiante (M):*** Es el flujo radiante que emite una fuente por unidad de superficie y su unidad es $W/m^2$. Se trata de una radiación emitida. En el sistema fotométrico recibe el mismo nombre y su unidad es el $lm/m^2$.

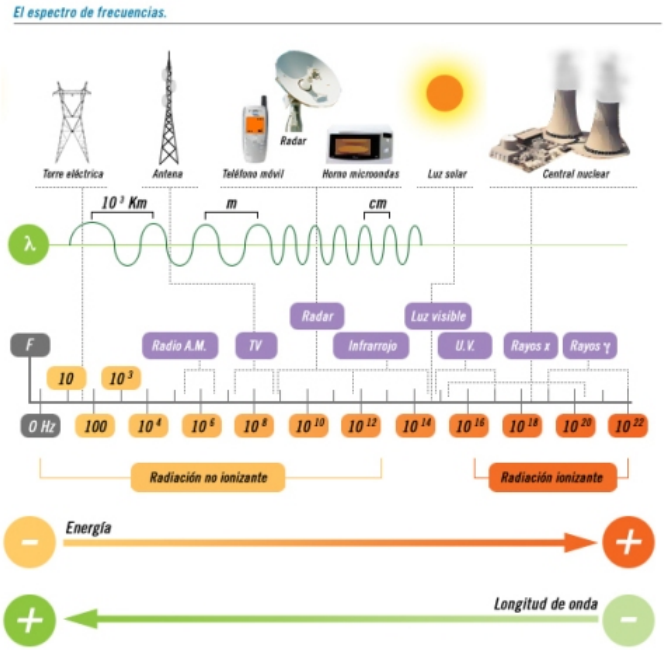
- ***Radiancia (L):*** Es el flujo radiante que se emite por unidad de superficie de la fuente en la unidad de ángulo sólido en una dirección dada, expresada en watios por metro cuadrado por estereorradián (W/(m2 · sr)). Su equivalente fotométrico se denomina **Luminancia.**

- ***Exposición radiante (H):*** Cantidad de energía radiante incidente en una superficie $J/m^2$. La irradiancia integrada con respecto al tiempo, expresada en julios por metro cuadrado (J/m2 ).

- ***Principales magnitudes relacionadas con los CEM:***

| Magnitud | Símbolo | Unidad | Símbolo | Medible con sonda |
|---|---|---|---|---|
| Campo eléctrico *in situ* | $E_0$ | voltios por metro | V/m | |
| Campo eléctrico | E | voltios por metro | V/m | X |
| Campo magnético | H | amperios por metro | A/m | X |
| Inducción magnética | B | teslas | T | X |
| Densidad de potencia | S | vatios por metro cuadrado | $W/m^2$ | X |
| Corriente de contacto | $I_C$ | amperios | A | |
| Corriente en las extremidades | $I_L$ | amperios | A | |
| Tasa de absorción específica de energía | SAR | vatios por kilogramo | W/kg | |
| Absorción específica | SA | julios por kilogramo | J/kg | |

Tabla 2. Principales magnitudes relacionadas con la exposición a CEM.



# Tipos de radiaciones no ionizantes

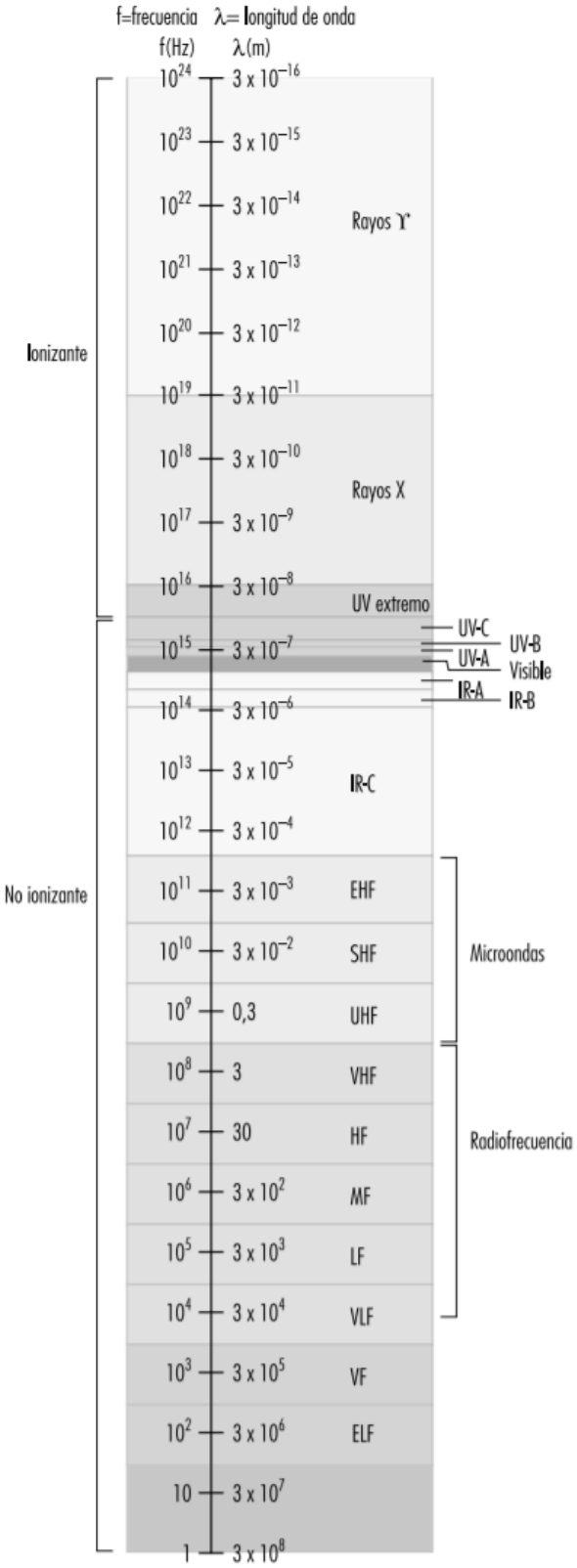
Espectro de radiaciones no ionizantes:

Las radiaciones no ionizantes las dividiremos en campos electromagnéticos CEM y radiaciones ópticas RO.

A los primeros les será de aplicación el RD 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos, y a los segundos el RD 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales.

Ordenados de menor a mayor energía se pueden resumir los diferentes tipos de ondas electromagnéticas de la siguiente forma:

| | |
|---|---|
| **Campos eléctricos y magnéticos estáticos** | 0 – 1 Hz |
| **Ondas electromagnéticas de extremadamente baja frecuencia (ELF)** | 1- 3 KHz (1-3x$10^3$ Hz) |
| **Ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia (LF)** | 3 - 30 KHz (3x$10^3$-3x$10^4$ Hz) |
| **Ondas electromagnéticas de radio frecuencia (RF)** | 30 KHz - 1GHz (3x$10^4$-1x$10^9$ Hz) |
| **Microondas (MO)** | 1 - 300 GHz (1x$10^9$-3x$10^{11}$ Hz) |
| **Infrarrojos (IR)** | 300 GHz - 385 THz (3x$10^{11}$-3,85 x$10^{14}$ Hz) |
| **Luz visible** | 385 - 750 THz (3,85 x$10^{14}$ -7,5x$10^{14}$Hz) |
| **Radiación ultravioleta (UV)** | 800 - 30000 THz (8x$10^{14}$-3x$10^{16}$Hz) |




- **Campos eléctricos y magnéticos estáticos** (imanes, conductores eléctricos de corriente continua, etc.).
- **Ondas electromagnéticas de extremadamente baja frecuencia (ELF o FEB).** El intervalo de frecuencias alcanza hasta 3 kilohertzios. (Líneas eléctricas de corriente alterna).
- **Ondas electromagnéticas de muy baja frecuencia (LF).** El intervalo de frecuencias es de 3 a 30 Kilohertzios. (Algunas máquinas de soldadura por inducción).
- **Ondas electromagnéticas de radio frecuencia (RF).** El intervalo de frecuencias es de 30 Kilohertzios a 1Gigahertzio. (Ondas de radio y televisión, soldadura de plásticos, etc.).
- **Microondas (MO).** Ondas electromagnéticas entre 1 y 300 Gigahertzios. (Hornos de microondas, telefonía móvil, etc...)
- **Infrarrojos (IR).** Ondas electromagnéticas entre 300 Gigahertzios y 385 Terahertzios. (Lámparas de infrarrojos, material candente, etc.).
- **Luz visible.** Ondas electromagnéticas entre 385 Terahertzios y 750 Terahertzios. (Iluminación).
- **Radiación ultravioleta (UV)** Son las radiaciones no ionizantes de mayor energía. Oscila entre valores de 800 Terahertzios y 30000 THz. (Lámparas de vapor de mercurio, lámparas de detección de taras, lámparas de insolación industrial, etc.). Estas marcan el límite con las radiaciones ionizantes.

Las **radiaciones ópticas** son radiaciones no ionizantes, es decir, no poseen suficiente energía para provocar ionización. La energía puesta en juego en los procesos de absorción y emisión es menor que en el caso de las radiaciones ionizantes y mayor que en los campos electromagnéticos. Por tanto, dentro del espectro electromagnético ocupan la zona comprendida entre los rayos X y las microondas.

| Tabla 1. Regiones y denominaciones del espectro óptico | | |
|---|---|---|
| | REAL DECRETO | OTRAS DENOMINACIONES |
| ENERGIA ↑ | UVC (100 - 280 nm) | UV extremo (1 / 10 nm - 100 nm) Región germicida |
| | UVB (280 - 315 nm) | UV lejano (200 nm - 300 nm) Región eritémica |
| | UVA (315 - 400 nm) | UV próximo (300 - 400 nm) "Luz negra" |
| | VISIBLE (380 - 780 nm) | Luz |
| | IRA (780 - 1400 nm) | IR próximo (760 nm - 4000 nm) |
| | IRB (1,4 µm - 3 µm) | IR medio (4 µm - 14 µm) |
| | IRC (3 µm - 1 mm) | IR lejano (14 µm - 100 µm) |

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación óptica de longitudes de onda más cortas que la visible y fotones (partículas de radiación) más energéticos que los de la luz visible.

Del mismo modo que la luz se divide en colores que pueden verse en un arco iris, la radiación UV se subdivide en componentes comúnmente denominados UVA, UVB y UVC.

- La UVC (radiación UV de muy corta longitud de onda) de la luz solar es absorbida por la atmósfera y no llega a la superficie terrestre. La UVC solo se obtiene de fuentes artificiales, tales como lámparas germicidas, que emiten la mayor parte de su energía a una sola longitud de onda (254 nm) que es muy eficaz para matar bacterias y virus sobre una superficie o en el aire.

- La UVB es la radiación UV biológicamente más perjudicial para la piel y los ojos, y aunque la mayor parte de esta energía (que es un componente de la luz solar) es absorbida por la atmósfera, produce quemaduras solares y otros efectos biológicos. λ 295-315nm

- La UVA (radiación UV de larga longitud de onda), se encuentra normalmente en la mayoría de las lámparas y es también la radiación UV más intensa que llega a la Tierra. Aunque la UVA puede penetrar profundamente en el tejido, no es tan perjudicial biológicamente como la UVB, ya que la energía individual de los fotones es menor que en la UVB o la UVC.

En la radiación Infrarroja (IR), las longitudes de onda están comprendidas entre 780 nm y 1 mm. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en:

- IRA (de 780 nm a 1,4 µm)

- IRB (de 1,4 µma3 µm)

- IRC (de 3 µm a 1 mm).

# Fuentes de radiación

## 1. Origen campos eléctricos y magnéticos:

Los campos electromagnéticos están presentes de manera habitual en el mundo que nos rodea. Los más conocidos son los de origen natural como el campo magnético terrestre o los campos eléctricos que se producen en la atmosfera durante una tormenta. A las fuentes naturales de campos electromagnéticos se suman las fuentes generadas por el ser humano. Por ejemplo: los campos magnéticos estáticos están presentes en algunos ferrocarriles eléctricos o en las resonancias magnéticas.

–**Campos electricos estáticos**: Toda carga eléctrica crea a su alrededor un campo eléctrico cuya intensidad definimos con el símbolo E. Si situamos en el seno de un campo E una carga Q, actuará sobre ella una fuerza cuyo valor dependerá de la intensidad de E, del valor de la carga y de la distancia a la que se coloca. El campo disminuye rápidamente cuando la distancia aumenta.

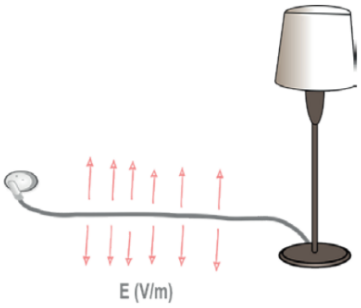



Figura 4. Campo eléctrico generado por una diferencia de potencial.

–**Campos magneticos estaticos**: son producidos por imanes permanentes o por corrientes eléctricas continuas (DC), es decir, por cargas en movimiento. Se caracterizan por permanecer constantes en el tiempo. También disminuye rápidamente cuando aumenta la distancia. La intensidad del campo magnético (H) en un punto representa la fuerza ejercida sobre un elemento de corriente en dicho punto, su unidad de medida es en A/m.

El campo magnético también puede expresarse a través de otra magnitud vectorial llamada inducción magnética o densidad de flujo magnético (B), cuya unidad de medida es el tesla (T). Las magnitudes B y H son directamente proporcionales entre sí. En el vacío y en la materia biológica, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden utilizar indistintamente según la equivalencia:

$B=\mu_0 H$ Siendo $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}$ henrios por metro (H/m) la permeabilidad en el vacío.

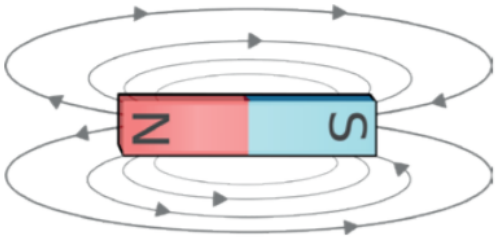



Figura 5. Campo magnético B generado por un imán.

–**Campos electromagnéticos variables en el tiempo y radiación:** cuando una corriente eléctrica circula por el circuito, se crea un campo magnético, además del correspondiente campo eléctrico. Cuando la corriente eléctrica va cambiando de sentido se denomina corriente alterna, AC. El número de veces que la corriente cambia su sentido en cada segundo se llama frecuencia y se mide en hertzios (Hz). Las líneas de campo magnético son círculos concéntricos alrededor del cable.

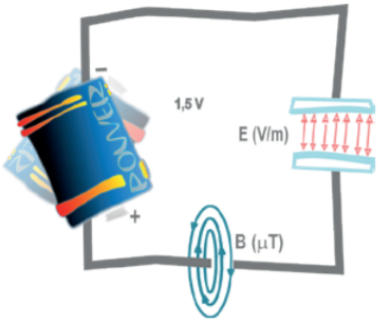


Figura 6. Campo eléctrico generado por una corriente alterna.

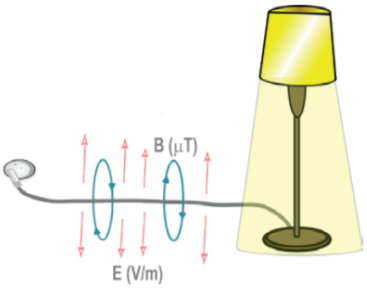


Figura 7. Campos eléctrico y magnético generados por una corriente alterna.

Cuando por un circuito eléctrico cerrado se hace circular un flujo de campo magnético variable en el tiempo, se induce en el circuito una diferencia de potencial, también llamada fuerza electromotriz y, por tanto, se genera un campo eléctrico. Este fenómeno se conoce como ley de Faraday o inducción electromagnética y demuestra que, bajo las condiciones indicadas, los campos eléctrico y magnético están interrelacionados. En base al fenómeno de inducción electromagnética, se explica que, si a un sistema de cargas se le imprime un movimiento acelerado, se produce un campo magnético variable en el tiempo, el cual a su vez genera campos eléctricos. Pero, si estos campos eléctricos se producen, tuvieron que partir de cero; de forma que tal variación del campo eléctrico genera a su vez un campo magnético y así repetidamente. Esta sucesión oscilante de campos eléctricos y magnéticos viajando por el espacio se denomina onda electromagnética y permite la radiación de energía desde el punto de generación.

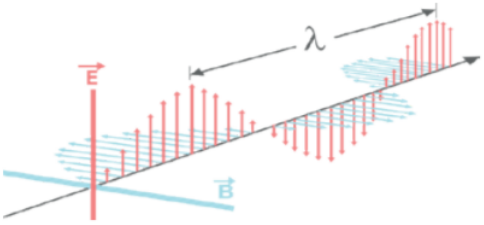


Figura 9. Propagación de una onda plana.

## 2. Fuentes de radiación ultravioleta

La mayoría de las fuentes de luz emiten también algo de Radiación UV. La RUV está presente en la luz del sol y también es emitida por un gran número de fuentes ultravioleta utilizadas en la industria, la ciencia y la medicina. Los trabajadores pueden encontrarse con la RUV en una gran variedad de puestos de trabajo. Normalmente la RUV es invisible y solo se detecta por el resplandor de materiales que producen fluorescencia al ser iluminados con RUV.

- **Luz solar**

La mayor exposición de origen profesional a la RUV la experimentan quienes trabajan al aire libre, bajo la luz del sol. La energía de la radiación solar está muy atenuada por la capa de ozono de la Tierra, que limita la RUV terrestre a longitudes de onda superiores a 290-295 nm.

La energía de los rayos de corta longitud de onda (UVB), más peligrosos, de la luz solar depende considerablemente de su trayectoria oblicua en la atmósfera, y varía con la estación y la hora del día.

- **Fuentes artificiales**

Entre las fuentes artificiales más importantes de exposición humana están las siguientes:

*Soldadura al arco industrial*: La principal fuente de exposición potencial a la RUV es la energía radiante de los equipos de soldadura al arco. Los niveles de RUV en torno al equipo de soldadura al arco son muy altos y pueden producirse lesiones oculares y cutáneas graves en un tiempo de tres a diez minutos de exposición a distancias visuales cortas, de unos pocos metros. La protección de los ojos y la piel es obligatoria.

*Lámparas de RUV industriales/en el lugar de trabajo:* Muchos procesos industriales y comerciales, tales como el curado fotoquímico de tintas, pinturas y plásticos, requieren la utilización de lámparas que emiten una radiación intensa en la región del UV. Aunque la probabilidad de exposición perjudicial es baja gracias al empleo de blindajes, en algunos casos puede producirse exposición accidental.

*"Lámparas de luz negra":* Las lámparas de luz negra son lámparas especializadas que emiten predominantemente en la región del UV, y por lo general se utilizan para pruebas no destructivas con polvos fluorescentes, para la autentificación de billetes de banco y documentos, y para efectos especiales en publicidad y discotecas. No plantean ningún riesgo de exposición considerable para los humanos (excepto en ciertos casos para la piel fotosensibilizada).

*Tratamiento médico:* Las lámparas de RUV se utilizan en medicina para diversos fines de diagnóstico y terapéuticos. Normalmente, las fuentes de UVA se utilizan en aplicaciones de diagnóstico. Los niveles de exposición del paciente varían considerablemente según el tipo de tratamiento, y las lámparas UV empleadas en dermatología requieren una utilización cuidadosa por parte del personal.

*Lámparas RUV germicidas:* La RUV con longitudes de onda en el intervalo de 250–265 nm es la más eficaz para esterilización y desinfección dado que corresponde a un nivel máximo en el espectro de absorción del ADN. Como fuente UV se utilizan con frecuencia tubos de descarga de mercurio de baja presión, ya que más del 90% de la energía radiada se emite en la línea de 254 nm. Estas fuentes suelen denominarse "lámparas germicidas", "lámparas bactericidas" o simplemente "lámparas UVC". Se utilizan en hospitales para combatir la infección por tuberculosis, y también en el interior de cabinas microbiológicas de seguridad para inactivar los microorganismos del aire y de las superficies. Es esencial una instalación adecuada de las mismas y el uso de protección ocular.

*Bronceado cosmético:* En ciertas empresas hay camas solares en las que los clientes pueden broncearse por medio de lámparas especiales que emiten principalmente en la región del UVA, aunque también algo en la del UVB. El uso habitual de una cama solar puede contribuir considerablemente a la exposición cutánea anual de una persona al UV; asimismo, el personal que trabaja en salones de bronceado puede resultar expuesto a bajos niveles. El uso de medios de protección ocular tales como gafas de seguridad o gafas de sol debería ser obligatorio para el cliente, y dependiendo de la disposición del establecimiento incluso el personal puede necesitar protectores oculares.

*Alumbrado general:* Las lámparas fluorescentes son de uso habitual en el lugar de trabajo y también hace tiempo que se utilizan en el entorno doméstico. Estas lámparas emiten pequeñas cantidades de RUV y solo contribuyen en un pequeño porcentaje a la exposición anual de una persona a la radiación UV. Las lámparas de tungsteno halógenas cada vez se utilizan más en el hogar y en el lugar de trabajo para diversos fines de alumbrado y exhibición. Las lámparas halógenas sin apantallar pueden emitir niveles de RUV suficientes para causar graves lesiones a cortas distancias. Colocando sobre ellas filtros de vidrio se eliminaría este riesgo.

# Efectos sobre la salud de los CEM

Fuente de información: Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo, capítulo 49 Radiaciones no ionizantes, y Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos en los lugares del trabajo del INSHT (2019).

Los efectos sobre la salud dependen de la banda de frecuencias en la que nos movamos.

En general, los efectos para la salud de los CEM se dividen en:

- **Efectos biofísicos directos**: los efectos en el cuerpo humano causados directamente por su presencia en campos electromagnéticos, entre ellos:

1. Efectos térmicos: como el calentamiento de los tejidos por la absorción de energía procedente de campos electromagnéticos.

2. Efectos no térmicos: como la estimulación de los músculos, de los nervios o de los órganos sensoriales; estos efectos podrían ser perjudiciales para la salud física y mental de los trabajadores expuestos; además, la estimulación de los órganos sensoriales podría dar lugar a síntomas transitorios, como vértigo o fosfenos retinianos. Estos efectos podrían provocar molestias temporales, alterar el conocimiento u otras funciones cerebrales o musculares y por tanto podrían repercutir en la capacidad del trabajador para trabajar de manera segura; en definitiva, podrían suponer riesgos para la seguridad.

Entre los trastornos que se producen de forma transitoria pueden encontrarse:

a) las percepciones sensoriales producidas por campos magnéticos variables en el tiempo.

b) los efectos en el funcionamiento del sistema nervioso central en la cabeza, debidos a campos magnéticos variables en el tiempo.

c) los efectos del campo magnético estático, como vértigo y náuseas.

3. Corrientes en las extremidades.

- **Efectos indirectos:** efectos causados por la presencia de un objeto en un campo electromagnético que pueda entrañar un riesgo para la salud o la seguridad, como:

1. Interferencias con equipos y dispositivos médicos electrónicos (incluidos los marcapasos cardíacos y otros dispositivos médicos implantados o llevados en el cuerpo).

2. Riesgo de proyección de objetos ferromagnéticos en campos magnéticos estáticos.

3. Activación de dispositivos electro-explosivos (detonadores).

4. Incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables mediante chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas en forma de chispa.

5. Corrientes de contacto.

## *EFECTOS EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA*

### 1. EFECTOS NO TÉRMICOS (0 Hz – 10 MHz) (0-$10^7$ Hz)

1.1. Intervalo de frecuencia: 0 Hz – 1 Hz

Este rango espectral hace referencia a los campos magnéticos estáticos. A estas frecuencias los efectos se asocian al movimiento del trabajador dentro del campo estático y comprenden una serie de sensaciones como mareos o náuseas mientras la persona camina o mueve la cabeza rápidamente. Asimismo, se han descrito en la bibliografía sensaciones gustativas como el sabor metálico en la boca. Para evitar estos efectos se han establecido los $VLE_{sensoriales}$.

Cuando las personas están en reposo, los campos magnéticos estáticos no tienen consecuencias, salvo que la intensidad del campo sea muy elevada, esto es, por encima de 8T. En este caso se podrían producir alteraciones de la función cardiaca o cerebral. También se han descrito alteraciones de la circulación sanguínea en las extremidades, que producen una sensación de hormigueo similar a cuando se nos duerme la mano o el pie.

Existen algunas aplicaciones de los campos estáticos en las que los trabajadores deben permanecer o acceder, total o parcialmente, cerca del núcleo de imanes de gran potencia. Para estos casos se han establecido otros límites que aplican solo a la exposición de las extremidades o en condiciones de trabajo controladas.

Se debe entender por condiciones controladas aquellas condiciones de trabajo en las que:

- La intensidad del campo sea conocida y estable, esto es que B0 no pueda sufrir fluctuaciones imprevistas.
- Se hayan tomado las correspondientes medidas preventivas para el control de los movimientos.
- Los trabajadores hayan sido informados y formados para trabajar en condiciones de seguridad.

| VLE | Condición de exposición | $B_0$ | Efecto adverso a prevenir |
|---|---|---|---|
| $VLE_{salud}$ | Condiciones de trabajo controladas | 8 T | Alteraciones de la circulación sanguínea en las extremidades, de las funciones cerebrales y la función cardíaca. |
| $VLE_{sensoriales}$ | Exposición localizada en las extremidades | 8 T | Hormigueos en las extremidades. |
| | Condiciones de trabajo normales | 2 T | Náuseas, vértigos o sabor metálico en la boca. |

Tabla 1. VLE de 0 Hz – 1 Hz.

1.2. Intervalo de frecuencia: 1 Hz – 10 MHz ($10^7$ Hz)

Los campos electromagnéticos generan campos eléctricos in situ ($E_0$), es decir, dentro del organismo.

La componente eléctrica provoca que la superficie del cuerpo se cargue eléctricamente, lo que puede conllevar una sensación de pinchazos u hormigueo en la piel producida por la vibración del vello al rozar la ropa.

La componente magnética puede causar la estimulación de los órganos sensoriales. El efecto más común son los fosfenos, que consisten en sensaciones visuales vagas y centelleantes en la periferia de la visión, lo cual no tiene consecuencias para la salud, no obstante puede ser molesto o distraer a los trabajadores.

Cuando el campo electromagnético externo es lo suficientemente intenso se inducen corrientes de naturaleza circular en el interior del organismo, que producen la estimulación de nervios y músculos así como una sensación molesta que puede, incluso, llegar a ser dolorosa.

Para prevenir estos efectos se establecen los diferentes límites: unos $VLE_{Salud}$ para cuerpo entero y unos $VLE_{sensoriales}$, localizados en la cabeza, que solo aplican entre 1 Hz- 400 Hz.

Los niveles de acción establecidos para los campos eléctricos son los valores de referencia a partir de los cuales se deberían adoptar medidas específicas de protección o prevención. Para los campos magnéticos se establecen niveles de acción inferiores correspondientes a valores límite de exposició n relacionados con efectos sensoriales y niveles de acción superiores correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.

- Si se cumplen los $NA_{inf}$, tanto para la componente eléctrica como para la magnética, se garantiza el cumplimiento de los $VLE_{salud}$, $VLE_{sensoriales}$, así como que no se van a producir descargas en forma de chispa.

- Si se cumple el $NA(E)_{sup}$, se garantiza la ausencia de efectos para la salud pero es posible que se produzcan descargas superficiales molestas y, por tanto, habrá que establecer medidas de control.

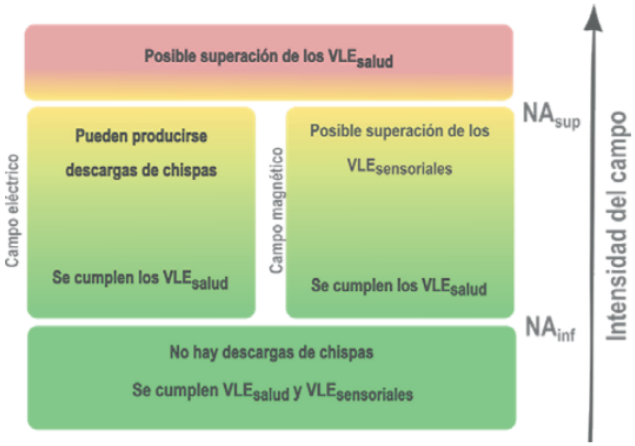


Figura 4. Resumen de los valores límite de exposición y niveles de acción.

- Si se cumple el $NA(B)_{sup}$, se garantiza la ausencia de efectos adversos para la salud, pero pueden aparecer alteraciones de la percepción como, por ejemplo, los fosfenos. En consecuencia, en este caso, también habrá que planificar las correspondientes medias preventivas.

En 2002, la Agencia Internacional para Investigación de Cáncer (IARC), un componente de la Organización Mundial de la Salud, nombró a un grupo de trabajo de expertos para revisar toda la evidencia disponible sobre campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencia extremadamente baja (FEB). El grupo de trabajo clasificó los CEM-FEB como "posiblemente carcinógenos para humanos", con base en limitada evidencia de estudios humanos en relación con la leucemia infantil. Los campos eléctricos estáticos y magnéticos y campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja fueron determinados como "sin poder clasificarse en cuanto a su carcinogenicidad para humanos.

En 2015, el Comité Científico de la Comisión Europea de Riesgos para la Salud Emergentes y de Identificación Reciente revisó los campos

electromagnéticos en general, así como los teléfonos celulares en particular. Encontró que, en general, los estudios epidemiológicos de campos de frecuencia extremadamente baja muestran un mayor riesgo de leucemia infantil con exposiciones promedio diarias calculadas arriba de 0,3 a 0,4 μT, aunque no se han identificado mecanismos y no hay apoyo de estudios experimentales que explique esos resultados. Encontró también que los estudios epidemiológicos sobre exposición a radiofrecuencia no muestran un riesgo mayor de tumores de cerebro u otros cánceres de la región de la cabeza y cuello, aunque permanece abierta la posibilidad de una asociación con neuromas acústicos.

Actualmente se están llevando a cabo nuevos estudios para hallar si existe alguna otra relación de causa-efecto entre los campos electromagnéticos y el cáncer. Aunque tampoco se ha descubierto que la exposición a niveles bajos de campos de radiofrecuencia genere efectos perjudiciales, la preocupación social ha llevado a ampliar las investigaciones para conocer si pueden generar otros problemas de salud menos evidentes.

## 2. EFECTOS TÉRMICOS (100 KHz – 300 GHz) ($10^5$ – $3x10^{11}$)

La exposición de las personas a campos de frecuencia superior a 100 kHz causa calentamiento a través de la absorción de energía.

Nuestro organismo necesita mantener la temperatura interna dentro de un estrecho margen de oscilación, entre 36 y 37°C, para garantizar el correcto funcionamiento de las funciones vitales. Un adulto sano suele ser capaz de mantener un equilibrio térmico frente a ganancias y pérdidas de calor, gracias a los mecanismos fisiológicos de termorregulación. Sin embargo, si el ritmo al que se absorbe la energía es demasiado alto, estos mecanismos podrían ser insuficientes, lo que daría lugar a un aumento de la temperatura corporal.

Este incremento de la temperatura corporal se distribuye irregularmente en el interior del organismo, estableciéndose gradientes térmicos.

Cuando la exposición no es uniforme, la energía solo se absorberá en ciertas zonas del cuerpo, como las manos y las muñecas. En estas situaciones, la energía absorbida queda concentrada en una masa de tejido mucho menor. Además, si los órganos afectados cuentan con una vascularización pobre, como los ojos y los testículos, serán más susceptibles al daño térmico. Por ello, las lesiones más importantes se localizan en el cristalino y consisten en opacidades y cataratas.

Una característica específica de las quemaduras ocasionadas por exposición a CEM es el patrón de gradiente térmico interno, esto es: el calor se transmite desde el interior del cuerpo hacia la superficie. Esta particularidad permite distinguir las quemaduras producidas por radiofrecuencias y microondas de las originadas por otros métodos de calentamiento. Los valores límite de exposición para este intervalo tienen precisamente por objeto evitar que se produzca este calentamiento que puede ser: superficial, localizado en una parte del cuerpo o generalizado en todo el organismo.

### 2.1. Intervalo de frecuencia: 100 kHz – 6 GHz ($10^5$-$6x10^9$ Hz)

Los campos de estas frecuencias son capaces de calentar todo el tejido expuesto, pudiendo llegar a producir quemaduras en determinadas partes del cuerpo o en todo el organismo.

Para evitar que se produzca este efecto se establecen los siguientes $VLE_{Salud}$.

| Parte del cuerpo | SAR (W/kg) | Efecto adverso a prevenir |
|---|---|---|
| Cuerpo entero | 0,4 | Calentamiento generalizado en todo el cuerpo |
| Cabeza y tronco | 10 | Calentamiento localizado |
| Extremidades | 20 | Calentamiento localizado |

Tabla 7. $VLE_{salud}$ de 100 kHz a 6 GHz.

El SAR es una medida de la velocidad a la que un tejido absorbe energía y, por tanto, se calienta. Se define para un periodo de 6 minutos, lo que significa que en ningún periodo de seis minutos a lo largo de la jornada laboral podrán superarse estos valores.

Además del calentamiento, existe otro efecto asociado a las microondas que consiste en la percepción por parte del oído interno de los campos pulsátiles de frecuencias entre 300 MHz y 6 GHz. Es conocido como "oír el radar" y es una falsa sensación auditiva que puede resultar molesta.

Para evitarla se establece una limitación a la SA en forma de $VLE_{sensorial}$.

| Absorción específica de energía (SA) | Efecto adverso a prevenir |
|---|---|
| 10 mJ/kg | Efectos auditivos (zumbidos) |

Tabla 8. $VLE_{sensorial}$ de 300 MHz a 6 GHz.

En este rango de frecuencias el cumplimiento de estos límites estará garantizado siempre que no se superen sus correspondientes niveles de acción.

2.2. Intervalo de frecuencia: 6 GHz – 300 GHz

El calentamiento producido por las microondas de frecuencia más alta es únicamente superficial, por ello para describir este fenómeno se utiliza la densidad de potencia (S). La principal ventaja de esta magnitud es que representa directamente la exposición del trabajador y por tanto $VLE_{salud}$ y NA coinciden.

$VLE_{Salud}$ = NA (S)= 50 W/m$^2$

## 3. CORRIENTES DE CONTACTO

Para finalizar, el último efecto asociado a los CEM son las corrientes de contacto y corrientes inducidas en las extremidades.

Para prevenirlos, los niveles de acción medibles en el puesto de trabajo son los siguientes:

| Intervalo frecuencias | NA ($I_C$) [mA] (RMS) |
|---|---|
| Hasta 2,5 kHz | 1,0 |
| 2,5 ≤ f < 100 kHz | 0,4 x f |
| 100 kHz ≤ f ≤ 10 GHz | 40 |

Nota: 'f' es la frecuencia expresada en kHz.

Tabla 11. Niveles de acción para la corriente de contacto $I_C$.

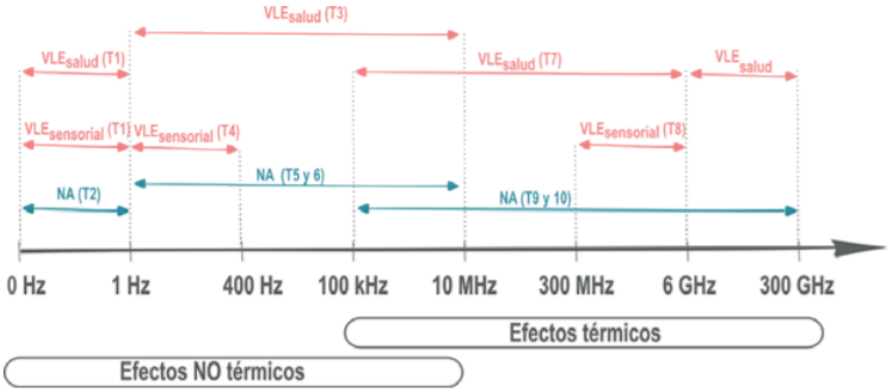
| Intervalo de frecuencias | NA ($I_L$) extremidades [mA] (RMS) |
|---|---|
| 10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz | 100 |

Nota: el $[NA (I_L)]^2$ medio se promedia a seis minutos.

Tabla 12. Nivel de acción para la corriente en extremidades $I_L$.

Consultar la página web de OSALAN con información actualizada al respecto de las evidencias de efectos sobre la salud de los CEM.

A modo de resumen, se muestra en la imagen qué efectos predominan en cada rango espectral y qué tablas del apéndice de la Guía del INSHT aplican según el intervalo de frecuencias considerado.



# Efectos sobre la salud de las radiaciones ópticas artificiales RO

## 1. Radiaciones Ultravioletas

Los efectos de las Radiaciones Ultravioletas se producen sobre todo en la piel y el ojo. En el caso de la piel, uno de los efectos más conocidos es el *eritema* (enrojecimiento doloroso de la piel inmediatamente después de la exposición). Una exposición prolongada en la piel puede provocar pérdida de la elasticidad de manera permanente. La exposición ocular genera conjuntivitis muy dolorosa que aparece entre 2 y 24 h después de la exposición y no suele dejar secuelas.

A la larga, el efecto más grave de las radiaciones UV es el incremento de riesgo de padecer ciertos tipos de cáncer cutáneo.

### a) La piel

La mayor parte de la radiación ultravioleta es absorbida en las capas más externas de la piel. La radiación UVB se absorbe en la epidermis mientras que la radiación UVA tiene un nivel de penetración mayor. Los efectos adversos por sobreexposición a radiación UV son:

1-Eritema

El eritema, o "quemadura solar", es un enrojecimiento de la piel producido por la vasodilatación de los capilares, en ocasiones acompañado de hinchazón y dolor, que normalmente aparece de cuatro a ocho horas después de la exposición a la RUV y desaparece gradualmente al cabo de unos días. Después aparece un aumento de la pigmentación. Las quemaduras solares intensas provocan formación de ampollas y desprendimiento de la piel.

La UVB y la UVC son unas 1.000 veces más eficaces que la UVA como agentes causantes de eritema, pero el eritema producido por la UVB, de mayor longitud de onda (295 a 315 nm) es más intenso y persiste durante más tiempo. Esta mayor intensidad y duración se deben a que la penetración de esta radiación de mayor longitud de onda en la epidermis es más profunda. La piel parece presentar la máxima sensibilidad a 295 nm aproximadamente, siendo esta sensibilidad mucho menor a longitudes de onda de 315 nm y superiores.

2-Fotosensibilización

El tratamiento con ciertos medicamentos puede producir un efecto sensibilizante en la exposición a la UVA, lo mismo que la aplicación tópica de determinados productos, como algunos perfumes, lociones corporales, etc. Las reacciones a los agentes sensibilizantes pueden implicar, fotoalergia (reacción alérgica de la piel) y fototoxicidad (irritación de la piel) tras la exposición a la radiación UV de la luz solar o de fuentes industriales de radiación UV.

3-Efectos retardados

La exposición crónica a la luz solar —en especial, al componente UVB— acelera el envejecimiento de la piel e incrementa el riesgo de cáncer de piel. Aún no se han establecido con exactitud las relaciones cuantitativas entre dosis y respuesta para la carcinogénesis de la piel humana.

• Elastosis. Es una degradación de las fibras de colágeno y elastina de la dermis lo que provoca un envejecimiento cutáneo precoz en el que la piel pierde su suavidad y firmeza.

• Fotocarcinogénesis. El principal factor inductor de la mayoría de los cánceres primarios de piel es la radiación ultravioleta. Se distinguen dos tipos de cáncer cutáneo: Melanoma (CCM) y No Melanoma (CCNM).

## b) El ojo

1. Fotoqueratitis y fotoconjuntivitis

Son reacciones inflamatorias agudas como consecuencia de la exposición a radiación UVB y UVC, que aparecen pocas horas después de una exposición excesiva y normalmente remiten al cabo de uno o dos días.

2. Lesión retiniana por luz brillante

Aunque la lesión térmica de la retina por fuentes de luz es improbable, pueden producirse daños fotoquímicos por exposición a fuentes con una fuerte componente de luz azul, con reducción temporal o permanente de la visión. No obstante, la respuesta normal de aversión a la luz intensa evitará este riesgo a menos que se haga un esfuerzo consciente por mirar a las fuentes de luz brillante. La contribución de la radiación UV a la lesión de retina es generalmente muy pequeña, debido a que la absorción por el cristalino limita la exposición retiniana.

3. Efectos crónicos

La exposición laboral de larga duración a la radiación UV durante varios decenios puede contribuir a la formación de cataratas y a efectos degenerativos no relacionados con el ojo, tales como envejecimiento cutáneo y cáncer de piel relacionados con la exposición.

La radiación ultravioleta actínica (UVB y UVC) es fuertemente absorbida por la córnea y la conjuntiva. La sobreexposición de estos tejidos provoca queratoconjuntivitis, conocida comúnmente como “golpe de arco” o “ceguera producida por la nieve”.

La exposición a la radiación UV rara vez produce lesiones oculares permanentes.

Se observó que la máxima sensibilidad de la córnea se produce a 270 nm. Al contrario de lo que sucede en la exposición de la piel, la exposición repetida del ojo a niveles de radiación UV potencialmente peligrosos no incrementa la capacidad protectora del tejido afectado (la córnea), lo que conduce a la pigmentación y al engrosamiento del estrato corneal.

La exposición crónica podría acelerar cambios del endotelio relacionados con el envejecimiento de la córnea. Las longitudes de onda superiores a 295 nm pueden transmitirse a través de la córnea y son absorbidas casi totalmente por el cristalino.

Hay un riesgo especial en la banda espectral de 300-315 nm, ya que los fotones de estas longitudes de onda penetran eficazmente y tienen suficiente energía para producir daños fotoquímicos. Aunque en tiempos fue una creencia popular debido a la fuerte absorción de UVA por el cristalino, la hipótesis de que la UVA puede causar cataratas no ha sido avalada por estudios experimentales de laboratorio ni por estudios epidemiológicos.

Aunque se ha demostrado claramente que la radiación UVB es mutágena y carcinógena para la piel, llama la atención la extrema infrecuencia de carcinogénesis en la córnea y la conjuntiva. No parece haber evidencia científica que relacione la exposición a la radiación UV con ningún tipo de cáncer de la córnea o la conjuntiva en humanos, aunque no sucede lo mismo con los animales. Esto sugiere que en el ojo humano actúa un sistema inmunológico muy eficaz.

## 2. Radiación Visible e Infrarroja

Los efectos sobre el cuerpo de la radiación visible e infrarroja son principalmente de tipo térmico y ocular. Los IR de mayor frecuencia pueden causar lesiones de origen térmico en la córnea. A medida que la longitud de onda disminuye, la radiación puede llegar a zonas más internas del ojo y causar daños en el cristalino (cataratas) y en la retina. La exposición crónica a la radiación infrarroja puede elevar el riesgo de cataratas, aunque esto es muy improbable si se dispone de protección ocular.

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1 mm. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μm), IRB (de 1,4 μma3 μm) e IRC (de 3 μm a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes.

Los principales efectos biológicos adversos atribuidos a la radiación infrarroja son las cataratas, conocidas como cataratas de los sopladores de vidrio o de los operarios de hornos. La exposición de larga duración incluso a niveles relativamente bajos produce estrés por calor en el cuerpo humano.

**a) Ojo:**

- La IRA afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo. Se considera que, con períodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino.

- En la región IRB e IRC del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1,9 μm, el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal.

- En la banda de IRC, la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa.

**b) Piel:**

La radiación infrarroja no penetra en la piel a mucha profundidad, por lo que la exposición de la piel a una IR muy intensa puede producir efectos térmicos de distinta intensidad e incluso quemaduras graves.

Los efectos sobre la piel dependen de las propiedades ópticas de ésta, tales como la profundidad de penetración en función de la longitud de onda. Particularmente, a longitudes de onda más largas, una exposición extensa puede provocar un gran aumento de temperatura local y quemaduras.

Si la exposición se prolonga durante períodos muy largos, incluso con valores muy inferiores al umbral de dolor, el cuerpo humano puede sufrir una elevada carga térmica, en especial si la exposición abarca la totalidad del cuerpo. Esto puede provocar un desequilibrio del sistema de termorregulación. El umbral de tolerancia de tales exposiciones depende de las diferentes condiciones individuales y ambientales, tales como la capacidad individual del sistema de termorregulación, el metabolismo del cuerpo durante la exposición o la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire (velocidad del viento).

## 3. La Radiación láser

La radiación laser consiste en un haz direccional de radiación visible, ultravioleta o infrarroja, diferenciándose de ésta en que su emisión corresponde a una frecuencia muy concreta (dentro de la banda correspondiente) y no a una mezcla de varias, como ocurre cuando se habla de una radiación visible UV o IR. En esencia, los efectos son los mismos que los de la radiación ordinaria de la misma radiación de onda, sin embargo, al ser una radiación no dispersa, la energía del haz disminuye muy poco con la distancia, lo que en la práctica se traduce en que su peligrosidad es mayor a igualdad de potencia de la fuente generadora, ya que puede concentrar la energía en una superficie muy pequeña.

Los principales riesgos derivados de la exposición de ojos y/o piel a la radiación láser en función de la longitud de onda y el órgano afectado son lesiones térmicas y fotoquímicas.

En resumen, existen al menos cinco tipos distintos de riesgos para el ojo y la piel debidos a fuentes de luz intensa y radiación IR. Además de los riesgos potenciales que presenta la radiación ultravioleta (RUV) de algunas fuentes de luz intensa, hay que tener en cuenta los siguientes:

1. Lesión térmica de la retina, que puede producirse a longitudes de onda de 400 nm a 1400 nm. Normalmente el peligro de este tipo de lesión solo lo plantean los láseres, una fuente de arco de xenón muy intensa o un hongo nuclear. La quemadura local de la retina produce un punto ciego (escotoma).

2. Lesión fotoquímica de la retina por luz azul (riesgo asociado principalmente con la luz azul de 400 nm a 550 nm de longitud de onda). Esta lesión se denomina comúnmente fotorretinitis por "luz azul" y una forma especial de ella recibe el nombre de retinitis solar debido a la fuente que la produce. La retinitis solar recibió en tiempos la denominación de "ceguera de los eclipses" con la correspondiente "quemadura retiniana". Sólo en los últimos años se ha descubierto que la fotorretinitis obedece a un mecanismo de lesión fotoquímico consecutivo a la exposición de la retina a longitudes de onda cortas del espectro visible, concretamente la luz violeta y azul.

3. Riesgos térmicos para el cristalino en la región del infrarrojo próximo (asociados con longitudes de onda de 800 nm a 3.000 nm aproximadamente) con potencial formación de catarata por calor industrial. Estas bandas espectrales contienen IRA e IRB.

4. Lesión térmica de la córnea y la conjuntiva (a longitudes de onda de 1.400 nm a 1 mm aproximadamente). Este tipo de lesión se limita casi exclusivamente a la exposición a radiación láser.

5. Lesión térmica de la piel. Aunque rara vez se debe a fuentes convencionales, puede producirse en todo el espectro óptico.

# Medidas preventivas básicas

## 1. Medidas preventivas para CEM

Los fabricantes de máquinas y equipos deben incorporar criterios de seguridad en la fase de diseño, de forma que los riesgos derivados de la exposición a CEM se reduzcan en origen al nivel más bajo posible. Cuando la finalidad de la máquina sea precisamente la generación de campos o sea imposible eliminar el riesgo residual que se pudiera producir, se deberá facilitar esta información en el manual de instrucciones.

Los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos dependen fundamentalmente de:

- La frecuencia.
- La intensidad del campo.

Para evaluar el riesgo que representan los campos electromagnéticos, es necesario caracterizarlos en términos de magnitudes físicas fácilmente medibles. Sin embargo, es importante señalar que, salvo en la tabla 1 recogida en el Anexo II del real decreto 299/2016, los VLE vienen expresados en función de magnitudes físicas medidas en el interior del cuerpo humano inducidas por la exposición a campos externos y, por tanto, no son fácilmente medibles.

Los niveles de acción establecidos para los campos eléctricos son los valores de referencia a partir de los cuales se deberían adoptar medidas específicas de protección o prevención.

Para los campos magnéticos se establecen niveles de acción inferiores correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos sensoriales y niveles de acción superiores correspondientes a valores límite de exposición relacionados con efectos para la salud.

Las magnitudes que se utilizan como niveles de acción son la intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de flujo magnético

a) Una de las medidas más eficaces para reducir la exposición es mantener al trabajador lo más alejado posible de la fuente emisora de campos electromagnéticos, ya que su intensidad desciende drásticamente al aumentar la distancia.

b) Sin embargo, en la mayoría de los casos puede recurrirse a sistemas de cerramiento sin bloqueo para reducir eficazmente el riesgo. Habitualmente suele bastar, por ejemplo, con una simple valla acompañada de señalización adecuada que, de forma disuasoria, restrinja el acceso a la zona de influencia del campo electromagnético. También podría bastar con señalización en el suelo que delimite la zona de exposición a campos intensos.

medidas técnicas para reducir la emisión y exposición incluyendo, cuando sea necesario, el uso de sistemas de bloqueo, blindajes o mecanismos similares de protección de la salud;

medidas adecuadas de delimitación y acceso, como señales, etiquetas, marcas en el suelo o barreras para limitar o controlar el acceso;

e) en caso de exposición a campos eléctricos, medidas y procedimientos para controlar las corrientes de contacto y las descargas en forma de chispa, mediante métodos técnicos y formación de los trabajadores;

f) programas adecuados de mantenimiento de los equipos de trabajo y de los lugares y los puestos de trabajo; g) el diseño y la disposición de los lugares y puestos de trabajo; h) la limitación de la duración e intensidad de la exposición;

i) la disponibilidad de equipos adecuados de protección individual. En la actualidad no existen equipos de protección individual (EPI) certificados para la protección frente a campos electromagnéticos

De acuerdo con lo establecido en el artículo 25 de la LPRL y en el artículo 4 del RSP, para garantizar de manera específica la protección de los trabajadores con riesgos particulares se deben tener en cuenta en la evaluación sus características personales. Las medidas preventivas y de protección para reducir la exposición incluidas en el plan de acción que se deriven de esta evaluación deben estudiarse de forma individualizada atendiendo a sus necesidades particulares. Entre los trabajadores con riesgos particulares se encuentran, por ejemplo: las trabajadoras embarazadas y los portadores de dispositivos metálicos con fines terapéuticos, activos o pasivos, implantados internamente. Entre los implantes activos están los marcapasos cardíacos o las bombas de administración de medicamentos, mientras que las prótesis articulares, clavos, placas o tornillos se consideran implantes pasivos. Un criterio razonable para garantizar la protección eficaz de los trabajadores especialmente sensibles podría ser mantener los niveles de exposición a campos electromagnéticos por debajo de los límites para el público general establecidos en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.

Las zonas de los lugares de trabajo en las que, según la evaluación de riesgos, exista la posibilidad de que los trabajadores vayan a estar expuestos a campos electromagnéticos que superen los niveles de acción serán objeto de señalización, de acuerdo con el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Dichas zonas se identificarán y se limitará el acceso a las mismas en caso necesario.

Figura 1. Pictogramas para campo magnético y para radiación no ionizante.

VLEsalud y VLEsensoriales para referirse a los valores límite relacionados con efectos para la salud y valores límite relacionados con efectos sensoriales, respectivamente. NA (E)sup y NA (E)inf se emplearán como abreviatura de niveles de acción superiores e inferiores para el campo eléctrico y NA (B)sup y NA (B)inf para el campo magnético.

El empresario garantizará que la exposición de los trabajadores a campos electromagnéticos no supere ni los VLE relacionados con efectos para la salud ni los VLE relacionados con efectos sensoriales, tanto para los efectos térmicos como para los efectos no térmicos.

Los VLE se establecen para prevenir los efectos adversos por lo que su cumplimiento asegura que no se producirán daños en la salud de los trabajadores. Sin embargo, como se explica en el apéndice 1, en general los VLE son magnitudes inducidas en el interior del organismo y, en consecuencia, no pueden 18 GUÍA TÉCNICA medirse en el puesto de trabajo, de ahí que surja la necesidad de establecer los NA.

Los NA son magnitudes ambientales medibles que se han obtenido a partir de los VLEsalud presuponiendo las condiciones de exposición más desfavorables para garantizar la máxima protección para el trabajador. El hecho de que los NA se obtengan suponiendo las condiciones de exposición más desfavorables abre la posibilidad a que estos niveles puedan superarse, dado que estas condiciones, tan desfavorables, solo se producirán esporádicamente.

| Tabla 1. Condiciones para la superación de los NA | |
|---|---|
| **Condiciones para superar E (apartado a)** | **Condiciones para superar B (apartado b)** |
| Se tomen medidas para prevenir las descargas de chispas. | La superación de los $VLE_{sensoriales}$ para la cabeza y el tronco sea un hecho ocasional. |
| | Se revise la evaluación de riesgos cuando los trabajadores informen de náuseas, mareos, vértigos, etc. |
| **Se demuestre que no se exceden los $VLE_{salud}$ de la tabla 2 del RD.** | |
| **Se informe a los trabajadores.** | |

Es posible superar los NA, bajo las condiciones de la tabla 1, pero los VLEsalud deben cumplirse en todo momento.

| Tabla 2. Condiciones para la superación de los $VLE_{sensoriales}$ | |
|---|---|
| **Condiciones para superar $B_0$ (apartado a)** | **Condiciones para superar $E_0$ o SA (apartado b)** |
| Se tomen medidas de protección frente a mareos o vértigos como, por ejemplo, evitar movimientos rápidos o bruscos. | |
| **Se revise la evaluación de riesgos cuando los trabajadores informen de efectos transitorios como: náuseas, mareos, vértigos, fosfenos, etc.** | |
| **La superación de los $VLE_{sensoriales}$ sea un hecho ocasional.** | |
| **Se demuestre que no se exceden los $VLE_{salud}$.** | |
| **Se informe a los trabajadores.** | |

Es posible superar los VLEsensoriales, bajo las condiciones de la tabla 2, pero los VLEsalud deben cumplirse en todo momento.

| Tabla 4. Lista no exhaustiva de personas que deberían considerarse trabajadores con riesgos particulares | |
|---|---|
| Trabajadores | Ejemplos |
| Con implantes médicos activos | Marcapasos cardíacos, desfibriladores cardíacos, implantes cocleares, implantes de tronco encefálico, prótesis de oído interno, neuroestimuladores, codificadores retinianos, bombas implantadas de infusión de medicamentos. |
| Con implantes médicos pasivos (que contengan partes metálicas) | Prótesis articulares, clavos, tornillos, grapas quirúrgicas, muelles para aneurismas, endoprótesis vasculares (stens), prótesis de válvulas cardíacas, anillos de anuloplastia, implantes anticonceptivos metálicos y carcasas de implantes médicos activos. |
| Con dispositivos médicos en el cuerpo | Bombas de infusión de hormonas externas. |
| Trabajadoras embarazadas | |

en el caso de los CEM, los límites se definen como valores de pico o promediados a tan solo unos minutos. En concreto, se pueden dar estas situaciones: • Para los efectos no térmicos, no se puede exceder el VLE en ningún momento durante la jornada laboral. • Para efectos térmicos, entre 100 kHz y 10 GHz, no podrá excederse el VLE en ningún período de 6 minutos durante la jornada laboral. • A partir de 10 GHz, donde el calentamiento es superficial, no podrá excederse el VLE correspondiente en ningún período de duración calculada según la ecuación: tminutos = 68/v1,05 (v es la frecuencia expresada en GHz)

| Tabla 1. VLE para la densidad de flujo magnético externo ($B_0$) de 0 Hz a 1 Hz | |
|---|---|
| **VLE relacionados con efectos sensoriales:** | |
| Condiciones de trabajo normales | 2 T |
| Exposición localizada en las extremidades | 8 T |
| VLE relacionados con efectos para la salud: | |
| Condiciones de trabajo controladas | 8 T |

| Tabla 2. VLE relacionados con efectos para la salud para el campo eléctrico «in situ» de 1 Hz a 10 MHz | |
|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **$E_0$ (V/m)** |
| 1 Hz ≤ f < 3 kHz | 1,1 (pico) |
| 3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz | $3{,}8 \times 10^{-4} \times f$ (pico) |

| Tabla 3. VLE relacionados con efectos sensoriales para el campo eléctrico «in situ» de 1Hz a 400 Hz | |
|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **$E_0$ (V/m)** |
| 1 Hz ≤ f < 10 Hz | 0,7/f (pico) |
| 10 Hz ≤ f < 25 Hz | 0,07 (pico) |
| 25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz | 0,0028 × f (pico) |

| Tabla 4. Niveles de acción para campos magnéticos estáticos | |
|---|---|
| **Riesgos** | **NA ($B_0$)** |
| Interferencias con dispositivos médicos activos implantados, por ejemplo marcapasos cardíacos | 0,5 mT |
| Riesgo de atracción y proyección de objetos en la proximidad de campos magnéticos intensos (> 100 mT) | 3 mT |

| Tabla 5. Niveles de acción para campo eléctrico (E) de 1 Hz a 10 MHz | | |
|---|---|---|
| **Intervalo frecuencias** | **NA (E) inferior [V/m] (RMS)** | **NA (E) superior [V/m] (RMS)** |
| $1 \leq f < 25$ Hz | $2{,}0 \times 10^4$ | $2{,}0 \times 10^4$ |
| $25 \leq f < 50$ Hz | $5{,}0 \times 10^5/f$ | $2{,}0 \times 10^4$ |
| 50 Hz $\leq f <$ 1,64 kHz | $5{,}0 \times 10^5/f$ | $1{,}0 \times 10^6/f$ |
| 1,64 $\leq f <$ 3 kHz | $5{,}0 \times 10^5/f$ | $6{,}1 \times 10^2$ |
| 3 kHz $\leq f \leq$ 10 MHz | $1{,}7 \times 10^2$ | $6{,}1 \times 10^2$ |

| Tabla 6. Niveles de acción para campo magnético (B) de 1Hz a 10MHz | | | |
|---|---|---|---|
| **Intervalo frecuencias** | **NA (B) inferior [µT] (RMS)** | **NA (B) superior [µT] (RMS)** | **NA para exposición de las extremidades a campo magnético localizado [µT] (RMS)** |
| $1 \leq f < 8$ Hz | $2{,}0 \times 10^5/f^2$ | $3{,}0 \times 10^5/f$ | $9{,}0 \times 10^5/f$ |
| $8 \leq f < 25$ Hz | $2{,}5 \times 10^4/f$ | $3{,}0 \times 10^5/f$ | $9{,}0 \times 10^5/f$ |
| $25 \leq f < 300$ Hz | $1{,}0 \times 10^3$ | $3{,}0 \times 10^5/f$ | $9{,}0 \times 10^5/f$ |
| 300 Hz $\leq f <$ 3 kHz | $3{,}0 \times 10^5/f$ | $3{,}0 \times 10^5/f$ | $9{,}0 \times 10^5/f$ |
| 3 kHz $\leq f \leq$ 10 MHz | $1{,}0\times 10^2$ | $1{,}0\times 10^2$ | $3{,}0 \times 10^2$ |

| Tabla 7. Niveles de acción para la corriente de contacto $I_C$ | |
|---|---|
| **Intervalo frecuencias** | **NA ($I_C$) en estado estacionario [mA] (RMS)** |
| Hasta 2,5 kHz | 1,0 |
| $2{,}5 \leq f < 100$ kHz | 0,4 x f |
| 100 kHz $\leq f \leq$ 10 GHz | 40 |

| Tabla 8. VLE relacionados con efectos para la salud para campos electromagnéticos de 100 kHz a 6 GHz | |
|---|---|
| **VLE relacionados con efectos para la salud** | **SAR promediado a lo largo de cualquier período de seis minutos** |
| VLE para el estrés térmico de cuerpo completo, expresado como SAR promediado para cuerpo entero | 0,4 W/kg |
| VLE para el estrés térmico en la cabeza y tronco, expresado como SAR localizado en cabeza y tronco | 10 W/kg |
| VLE para el estrés térmico en las extremidades, expresado como SAR localizado de las extremidades | 20 W/kg |

| Tabla 9. VLE relacionados con efectos sensoriales para campos electromagnéticos de 300 MHz a 6 GHz | |
|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **Absorción específica de energía localizada (SA)** |
| $0{,}3 \leq f \leq 6$ GHz | 10 mJ/kg |

Nota: La masa considerada para evaluar la SA localizada es de 10 g de tejido.

| Tabla 10. VLE relacionados con efectos para la salud para campos electromagnéticos de 6 GHz a 300 GHz | |
|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **Densidad de potencia (S)** |
| 6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz | 50 W/m² |

Nota: La densidad de potencia media se mide sobre una superficie expuesta cualquiera de 20 cm². Las densidades de potencia máxima espaciales promediadas para 1 cm² no deberán ser superiores a 20 veces el valor de 50 W/m². Las densidades de potencia comprendidas entre 6 y 10 GHz deben promediarse para cualquier período de seis minutos. Las densidades de potencia medias para frecuencias superiores a 10 GHz se calcularán un período de tiempo de $68/f^{1,05}$ minutos (en el que «f» es la frecuencia expresada en GHz) con el fin de compensar una reducción progresiva de la profundidad de penetración a medida que aumenta la frecuencia.

| Tabla 11. Niveles de acción para campos eléctricos y magnéticos de 100 kHz a 300 GHz | | | |
|---|---|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **NA (E) de campo eléctrico [V/m] (RMS)** | **NA (B) de inducción magnética [μT] (RMS)** | **NA (S) de densidad de potencia [W/m²]** |
| 100 kHz ≤ f < 1 MHz | $6,1 \times 10^2$ | $2,0 \times 10^6/f$ | – |
| 1 ≤ f < 10 MHz | $6,1 \times 10^8/f$ | $2,0 \times 10^6/f$ | – |
| 10 ≤ f < 400 MHz | 61 | 0,2 | – |
| 400 MHz ≤ f < 2 GHz | $3 \times 10^{-3} f^{1/2}$ | $1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$ | – |
| 2 ≤ f < 6 GHz | $1,4 \times 10^2$ | $4,5 \times 10^{-1}$ | – |
| 6 ≤ f ≤ 300 GHz | $1,4 \times 10^2$ | $4,5 \times 10^{-1}$ | 50 |

| Tabla 12. Niveles de acción para las corrientes de contacto y corrientes inducidas en las extremidades | | |
|---|---|---|
| **Intervalo de frecuencias** | **NA ($I_C$) corrientes de contacto en estado estacionario [mA] (RMS)** | **NA ($I_L$) corrientes inducidas en extremidades [mA] (RMS)** |
| 100 kHz ≤ f < 10 MHz | 40 | – |
| 10 MHz ≤ f ≤ 110 MHz | 40 | 100 |

Nota: El [NA ($I_L$)]2 medio debe promediarse para un período de seis minutos.

Como norma general se tendrá en cuenta que la exposición a radiaciones disminuye rápidamente a medida que aumenta la distancia entre el foco emisor y el individuo. El aumento de la distancia es la única medida preventiva efectiva para disminuir la exposición a campos magnéticos estáticos.

Las radiaciones que inciden en un objeto lo pueden atravesar, ser absorbidas por él o ser reflejadas por dicho objeto. La capacidad de una radiación para penetrar en un objeto depende de la longitud de onda de la misma y de las características estructurales del material. Una de las técnicas de protección frente a las radiaciones electromagnéticas consiste en apantallar convenientemente dicha radiación. Las pantallas deben estar conformadas con material apropiado.

Las radiaciones correspondientes a las bandas del Infrarrojo y Ultravioleta pueden ser apantalladas fácilmente, incluso con pantallas cuya transparencia permite acceder visualmente a la zona confinada.

El apantallamiento con mallas metálicas, apropiado, por ejemplo, para la protección frente a RF o MO, requiere el cálculo de la luz de la malla teniendo en cuenta la longitud de onda.

La intensidad del campo eléctrico puede disminuirse encerrando el foco o el receptor en una construcción metálica convenientemente puesta a tierra («Jaula de Faraday»).

El blindaje del foco emisor en el momento de su fabricación es la medida preventiva necesaria en el caso de ciertos tipos de Láseres.

La reducción del tiempo de exposición disminuye, así mismo, las dosis recibidas durante el trabajo.

La señalización de las zonas de exposición es una medida de control de tipo informativo, muy conveniente cuando la exposición a radiaciones tiene cierta importancia, especialmente para las personas portadoras de marcapasos cardíacos, por el peligro de interferencia en su funcionamiento que algunas radiaciones no ionizantes conllevan.

El uso de protecciones individuales (pantalla facial, gafas, ropa de trabajo, etc.) se limita al caso de radiaciones IR o UV.

Es conveniente realizar mediciones de los niveles de radiación existentes y valorarlos convenientemente por comparación con niveles de referencia técnicamente contrastados.

Es necesaria la realización de reconocimientos médicos específicos (cuando sea técnicamente posible) y periódicos, al personal expuesto a radiaciones.

## 2. Medidas preventivas para Campos magnéticos estáticos

Las medidas de protección para el uso industrial y científico de campos magnéticos pueden clasificarse en las siguientes categorías:

-medidas de diseño técnico,

-uso de la distancia de separación y

-controles administrativos.

No existe la posibilidad de equipos de protección individual (por ejemplo, prendas y máscaras especiales), para los campos magnéticos.

No obstante, un área especial de preocupación son las medidas protectoras contra riesgos potenciales por interferencia magnética con equipos electrónicos de emergencia o médicos y para implantes quirúrgicos y dentales. Las fuerzas mecánicas aplicadas a los implantes ferromagnéticos y objetos sin amarrar en instalaciones con campos de alta intensidad requieren tomar precauciones frente a los riesgos para la salud y la seguridad.

Las técnicas destinadas a minimizar la exposición indebida a campos magnéticos de alta intensidad en grandes instalaciones industriales y de investigación suelen pertenecer a uno de estos cuatro tipos:

1. distancia y tiempo
2. blindaje magnético
3. interferencia (EMI) y compatibilidad electromagnéticas
4. medidas administrativas.

El uso de señales de advertencia y zonas de acceso especial para limitar la exposición del personal cerca de instalaciones de grandes imanes ha sido de máxima utilidad para controlar la exposición. Este tipo de

controles administrativos suelen ser preferibles al blindaje magnético, que puede resultar extremadamente caro.

Los objetos ferromagnéticos y paramagnéticos (cualquier sustancia magnetizante) sueltos pueden convertirse en proyectiles peligrosos cuando están sujetos a gradientes de campo magnético intensos. Este riesgo solo puede evitarse retirando los objetos metálicos sueltos de la zona y los que lleve el personal. Deberá prohibirse la presencia de objetos tales como tijeras, destornilladores y bisturíes en las proximidades.

Cuando las densidades de flujo magnético exceden de 3 mT deben tomarse precauciones para prevenir riesgos por objetos metálicos volantes. Los relojes analógicos, tarjetas de crédito, cintas magnéticas y discos de ordenador pueden resultar afectados negativamente por la exposición a 1 mT, pero esto no se considera preocupante en relación con la seguridad de las personas.

Se podrá utilizar el acceso esporádico del público a instalaciones especiales en las que las densidades de flujo magnético excedan de 40 mT en condiciones debidamente controladas, siempre que no se rebase el límite de exposición profesional correspondiente.

Las personas portadoras de algunos implantes ferromagnéticos o de dispositivos de activación eléctrica (distintos de los marcapasos cardíacos) pueden ser afectadas por campos de nivel superior a algunos mT. Estas pueden no estar debidamente protegidos por los límites aquí indicados.

La mayoría de los marcapasos cardíacos es improbable que resulten afectados por la exposición a campos de intensidad inferior a 0,5 mT. Este límite es el que se fija también como de precaución con trabajadoras embarazadas.

Tabla 49.11 • Límites de exposición a campos magnéticos estáticos recomendados por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP).

| Características de la exposición | Densidad de flujo magnético |
|---|---|
| **Laboral** | |
| Toda la jornada (media ponderada en el tiempo) | 200 mT |
| Valor techo | 2 T |
| Extremidades | 5 T |
| **Público en general** | |
| Exposición continua | 40 mT |

### 3. Medidas preventivas para radiación UV

La exposición laboral a la Radiación UV debe minimizarse en la medida de lo posible.

En lo referente a las fuentes artificiales deberá darse prioridad en lo posible a medidas técnicas tales como filtrado, blindaje y confinamiento. Los controles administrativos, tales como la limitación de acceso, pueden reducir los requisitos de protección individual.

Los trabajadores que actúan a la intemperie pueden reducir al mínimo su riesgo de exposición a la radiación UV solar utilizando ropa apropiada de

tejido tupido y sombrero de ala ancha, y para reducir aún más la exposición pueden aplicarse filtros solares a la piel expuesta.

En la industria existen numerosas fuentes que pueden producir lesiones oculares agudas con una exposición breve. Hay diversos protectores oculares con distintos grados de protección apropiados para cada uso. Entre los de uso industrial se encuentran los cascos para soldadura (que además ofrecen protección frente a la radiación intensa visible e infrarroja y protegen la cara), las caretas, las gafas de seguridad y las gafas con absorción UV.

En las situaciones de exposición industrial se puede valorar el riesgo ocular midiendo y comparando los niveles de exposición con los límites recomendados.

Existe una amplia disponibilidad de lentes filtrantes de la radiación UV, de vidrio o de plástico, con factores de atenuación muy elevados, que protegen contra la totalidad del espectro UV.

Casi todos los materiales de las lentes de vidrio y de plástico bloquean la radiación ultravioleta de menos de 300 nm y la radiación infrarroja de longitud de onda superior a 3.000 nm (3 μm) y para algunos láseres y fuentes ópticas ofrecen buena protección las gafas de seguridad transparentes ordinarias, con resistencia al impacto (por ejemplo las lentes de policarbonato transparentes bloquean eficazmente las longitudes de onda superiores a 3 μm). No obstante, es preciso añadir absorbentes tales como óxidos metálicos al vidrio o colorantes orgánicos a los plásticos para eliminar la radiación UV de hasta 380-400 nm aproximadamente y la infrarroja desde 780 nm hasta 3 μm.

## 4. Medidas preventivas para luz visible e IR

La exposición laboral a la radiación visible e IR rara vez entraña riesgos y por lo general es beneficiosa. No obstante, algunas fuentes emiten una cantidad considerable de radiación visible provocando con ello la respuesta de aversión natural, por lo que hay pocas probabilidades de sobreexposición accidental de los ojos. En cambio, es muy probable que se produzca exposición accidental en el caso de fuentes artificiales que sólo emiten radiación en el infrarrojo próximo.

Entre las medidas que pueden adoptarse para reducir al mínimo la exposición innecesaria del personal a la radiación IR están un diseño técnico adecuado del sistema óptico que se utilice, el uso de gafas o pantallas adecuadas, la limitación del acceso a las personas directamente relacionadas con el trabajo y la comprobación de que los trabajadores son conscientes de los riesgos potenciales que entraña la exposición a fuentes de radiación intensa visible e infrarroja.

Normalmente se utiliza un grado de protección de las pantallas o gafas de soldadura de 3 o 4 para la soldadura con gas (que exige utilizar gafas) y de 10 a 14 para la soldadura con arco eléctrico o de plasma (para las que se requiere pantalla). La regla práctica es que la atenuación frente a los riesgos oculares es adecuada si el soldador considera que puede observar el arco cómodamente. En la actualidad existen filtros de soldadura auto-oscurecibles (automáticos), cuyo número de tinte aumenta con la intensidad de la radiación óptica que incide en él, que evita que el soldador se levante

la careta y se pueda producir la fotoqueratitis. La característica fundamental de estas caretas es la velocidad en el cambio de filtro

## 5. Medidas preventivas para radiación LASER

El sistema de clasificación de riesgos de los láseres facilita considerablemente la determinación de las medidas de seguridad adecuadas. Las normas de seguridad sobre láseres y las reglas prácticas requieren por sistema la adopción de medidas de control tanto más restrictivas cuanto más alta es la clasificación. En la práctica siempre es preferible confinar totalmente el láser y la trayectoria del haz de manera que no sea accesible ninguna radiación láser potencialmente peligrosa. En otras palabras, si sólo se utilizan productos láser de clase 1 en el lugar de trabajo, la seguridad de uso está garantizada.

Sin embargo, en muchas situaciones esto sencillamente no es viable, por lo que se requiere la oportuna formación de los trabajadores en la utilización segura del producto y en las medidas de control del riesgo.

Aparte de la regla evidente de no apuntar con un láser a los ojos de una persona, no se exige ninguna medida de control para un producto láser de clase 2.

Para los láseres de clases superiores se requieren obviamente medidas de seguridad. Si no es factible el confinamiento total de un láser de clase 3 o 4, el uso de carcasas que cubran el haz (por ejemplo tubos), pantallas deflectoras y cubiertas ópticas puede eliminar casi totalmente el riesgo de exposición ocular peligrosa en la mayoría de los casos.

Cuando no sea posible encerrar láseres de las clases 3 y 4, deberá establecerse una zona con entrada controlada para el láser y generalmente dentro de la zona de riesgo nominal (ZRN) del haz láser es obligatorio el uso de protectores oculares contra el láser.

Aunque en la mayoría de laboratorios de investigación en los que se utilizan haces láser colimados la ZRN abarca la totalidad de la zona controlada del laboratorio, en aplicaciones de haz focalizado la ZRN puede ser sorprendentemente limitada y no abarcar toda la sala.

Como garantía contra el uso inadecuado y posibles acciones peligrosas por parte de usuarios del láser no autorizados debe utilizarse la llave de control que traen todos los productos láser fabricados comercialmente. Dicha llave deberá guardarse en lugar seguro cuando no se utilice el láser si éste es accesible a las personas.

Durante la alineación y la puesta a punto inicial del láser es preciso adoptar precauciones especiales, ya que la probabilidad de sufrir lesiones oculares graves es muy elevada en tales circunstancias. Los operarios que trabajen con láseres deberán estar instruidos en los métodos de seguridad antes de realizar la puesta a punto y alineación del láser.

Después de establecerse los límites de exposición profesional se desarrollaron medios de protección ocular contra el láser y se definieron especificaciones para determinar las densidades ópticas (OD, una medida logarítmica del factor de atenuación) que serían necesarias para láseres específicos en función de la longitud de onda y de la duración de la exposición.

## Normativa

- Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de junio de 2013, sobre las disposiciones mínimas de salud y seguridad relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de agentes físicos (campos electromagnéticos) vigésima Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE), y por la que se deroga la Directiva 2004/40/CE.
- Recomendación 1999/519/CE del Consejo, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz
- Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales.
- Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Real Decreto 299/2016, de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.
- Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de la exposición a campos electromagnéticos del INSST (2019)
- Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales del INSST (2015)
- Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo del INSHT, capítulo 49 Radiaciones no ionizantes.
- Documento divulgativo DD.037: La exposición laboral a campos eléctricos y magnéticos estáticos. Panadero, G y Rupérez, MJ. 2004.
- Seguridad y Salud en el Trabajo: Estudio de la exposición laboral a campos electromagnéticos en servicios de fisioterapia. Berlana, T, Diego, B y Rupérez, MJ. 2009.
- NTP 894: Campos electromagnéticos: evaluación de la exposición laboral. 2011.
- NTP 1063: Imagen mediante Resonancia Magnética (I): técnica, riesgos y medidas preventivas. 2015.
- NTP 1103: Imagen mediante Resonancia Magnética (II): efectos para la salud y Real Decreto 299/2016. 2018.
- Seguridad y Salud en el Trabajo: Análisis e interpretación del Real Decreto 299/2016 sobre campos electromagnéticos. Cavia, S. 2017.

- International Commision on non-ionizing radiation protection
- Página web de la Organización Mundial de la Salud sobre campos electromagnéticos.

## FAQ's

1. **¿Qué se considera instalación radiactiva?**
2. **¿De qué categoría son las instalaciones radiactivas de la Universidad de Zaragoza?**
   - generadores de rayos X con tensión de pico < 200 kV.
3. **¿Con qué puedo medir la radiación a la que puedo estar expuesto?**
4. **¿Qué tipos de dosimetría existen?**
5. **¿Qué hay que hacer para dar de alta una instalación radiactiva?**
6. **¿Qué formación hay que tener para trabajar en una instalación radiactiva?**