

**RADIACION NO IONIZANTE Y CAMPOS**

**Campos Magnéticos estáticos**

Estos valores límite se refieren a las densidades de flujo magnético estático a las que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día sin causarles efectos adversos para la salud. Estos valores deben usarse como guías en el control de la exposición de los campos magnéticos estáticos y no deben considerárseles como límites definidos entre los niveles de seguridad y de peligro.

Las exposiciones laborales rutinarias no deben exceder de 60 mili-Teslas (mT), equivalente a 600 gauss (G), para el cuerpo entero ó 600 mT (6.000 G) para las extremidades, como media ponderada en el tiempo de 8 horas diarias [1 tesla (T) = 10<sup>4</sup> G]. Los valores techo recomendados son de 2 T para el cuerpo entero y de 5 T para las extremidades.

Debe existir protección para los peligros derivados de las fuerzas mecánicas producidas por el campo magnético sobre las herramientas ferromagnéticas y prótesis médicas. Los que lleven marcapasos y dispositivos electrónicos similares no deben exponerse por encima de 0,5 mT (5G). Se pueden producir también efectos adversos a densidades de flujo mayores como consecuencia de las fuerzas producidas sobre otros dispositivos médicos como por ejemplo las prótesis. Estos valores límite se resumen en la Tabla 1:

**TABLA 1:** Valores límite para los campos magnéticos estáticos

	Media Ponderada en el tiempo – 8h	Techo
Cuerpo	60 mT	2 T
Extremidades	600 mT	5 T
Personas que lleven dispositivos medicoselectrónicos		0,5

R. R. Rivas-2004

Espectro de radiación electromagnética y TLVs relacionados

Región	Radiación no ionizante										Radiación ionizante	
	Sub-radiofrecuencia		Radiofrecuencia	Microondas	Infrarrojo			Luz visible	Ultravioleta			Rayos X
Banda de ondas	FEB				IR-C	IR-B	IR-A		UV-A	UV-B	UV-C	
Longitud de onda	1000 Km	10 Km	1 m	1 mm	3 µm	1.4 µm	760 nm	400 nm	315 nm	280 nm	180 nm	100 nm
Frecuencia	300 Hz	30 Hz	300 MHz	300 GHz								
TLV aplicable	Sub-radiofrecuencia		Radiofrecuencia y microondas		Luz visible e infrarrojo proximo			Ultravioleta			Radiación ionizante	

**Campos magnéticos de sub-radiofrecuencias (30 kHz e inferior)**

Estos valores límites se refieren a toda la diversidad de densidad de flujo magnético (B) de los campos magnéticos de radiofrecuencia baja en el rango de 30 kHz e inferiores, a los que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos para la salud. Las fuerzas del campo magnético en estos valores límites son valores cuadráticos medios (v.c.m.). Estos valores deben usarse como guías para el control de la exposición a campos magnéticos de radiofrecuencia baja y no deben considerarse como límites definidos entre los niveles de seguridad y peligro.

Las exposiciones laborales a frecuencias extremadamente bajas (FEB) en el rango de 1 Hz a 300 Hz no deben exceder del valor techo dado por la ecuación.

$$B_{TLV} = \frac{60}{f}$$

en donde  $f$  es la frecuencia en Hz y  $B_{TLV}$  es la densidad del flujo magnético en militeslas (mT). Para frecuencias en el rango de 300 Hz a 30 kHz [que incluye la banda de frecuencia de la voz (FV) de 300 Hz a 3kHz y la banda de frecuencia muy baja (FMB) de 3kHz a 30kHz], las exposiciones laborales no deben exceder del valor techo de 0,2 mT.

Estos valores techo para frecuencia de 300 Hz a 30kHz son para las exposiciones tanto parciales como del cuerpo entero. Para frecuencias inferiores a 300 Hz, el valor límite para la exposición de las extremidades puede incrementarse por un factor de 10 para las manos y pies y de 5 para los brazos y piernas.

La densidad de flujo magnético de 60 mT/f a 60 Hz corresponde con el valor límite de 1 mT a 30 kHz, el valor límite es 0,2 mT que se corresponde con la intensidad del campo magnético de 160 A/m.

**Notas:**

1. Este valor límite se basa en la valoración de los datos disponibles de investigación en el laboratorio y de los estudios de exposición en humanos.
2. Para los trabajadores que lleven marcapasos, el valor límite puede no proteger a las interferencias electromagnéticas con respecto a su funcionamiento. Algunos modelos de marcapasos han mostrado ser susceptibles a interferencias de densidades de flujo magnético, para una potencia de frecuencia 50/60 Hz) tan baja como 0,1 mT.

**Sub-radiofrecuencias (30 kHz e inferiores) y campos eléctricos estáticos**

Estos valores límite se refieren a todos los puestos de trabajo sin protección a los campos de fuerzas de los campos eléctricos de radiofrecuencia baja (30 kHz e inferiores) y a los campos eléctricos estáticos que representan condiciones bajo las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos para la salud. Las intensidades de los campos eléctricos en estos valores límite son valores cuadráticos medios (v.c.m.). Estos valores deben usarse como guías en el control de la exposición. Las fuerzas de los campos eléctricos establecidos en estos valores límite se refieren a los niveles de campos presentes en el aire, aparte de las superficies de los conductores (donde las chispas eléctricas y corrientes de contacto

pueden

constituir peligros significativos).

Las exposiciones laborales no deben exceder de una intensidad de campo de 25 kV/m desde 0 Hz (corriente continua, CD) a 100 Hz. Para frecuencias en el rango de 100 Hz a 4 kHz, el valor techo viene dado por:

$$E_{TLV} = \frac{2,5 \times 10^6}{f}$$

en donde  $f$  es la frecuencia en Hz y  $E_{TLV}$  es la intensidad del campo eléctrico en voltios por metro (V/m).

Un valor de 625 V/M es el valor techo para frecuencias desde 4 kHz a 30 kHz. Estos valores techo para frecuencias de 0 a 30 kHz son para las exposiciones tanto parciales como del cuerpo entero.

### Notas:

1. Estos valores límite están basados en las corrientes que se producen en la superficie del cuerpo e inducen a corrientes internas a niveles bajo los cuales se cree producen efectos adversos para la salud. Se han demostrado ciertos efectos biológicos en estudios de laboratorios a intensidades de campos eléctricos por debajo de los permitidos en el valor límite.

2. Las fuerzas de campo mayores de aproximadamente 5-7 kV/m pueden producir una gran variedad de peligros para la seguridad, tales como situaciones de alarma asociadas con descargas de chispas y corrientes de contacto procedentes de los conductores sin conexión a tierra. Además, pueden existir situaciones de peligro para la seguridad asociadas con la combustión, ignición de materiales inflamables y dispositivos eléctricos explosivos cuando existan campos eléctricos de alta intensidad. Deben eliminarse los objetos no conectados a tierra, y cuando haya que manejar estos objetos hay que conectarlos a tierra o utilizar guantes aislantes. Una medida de prudencia es usar medios de protección (p.e. trajes, guantes y aislamientos) en todos los campos que excedan los 15 kV/m.

3. Para trabajadores que lleven marcapasos el valor límite no protege de las interferencias electromagnéticas cuando éste esté en funcionamiento. Algunos modelos de marcapasos son susceptibles de interferir con campos eléctricos de frecuencia (50/60 Hz) tan baja como 2 kV/m.

#### \* Radiación de radiofrecuencia y microondas

Estos valores límite hacen referencia a la radiación de radiofrecuencia (RF) y microondas en el rango de frecuencias comprendidas entre 30 kilohercios (kHz) y 300 gigahercios (GHz) y representan las condiciones en las que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos para la salud. En la Tabla 1 y en la Figura 1, se dan los valores límite en función de la frecuencia,  $f$ , en megahercios (MHz), en términos de los valores cuadráticos medios (v.c.m.) de las intensidades de los campos eléctricos (E) y magnéticos (H), de las densidades equivalentes de potencia (S) de onda plana en el espacio libre de obstáculos y de las corrientes inducidas (I) en el cuerpo que pueden asociarse con la exposición a esos campos.

A. Los valores límite de la Tabla 1, Parte A, se refieren a los valores de exposición obtenidos haciendo la media espacial sobre un área equivalente a la vertical de la sección transversal del

cuerpo (área proyectada). En el caso de una exposición parcial del cuerpo los valores límite

pueden ser menos restrictivos. En campos no uniformes, los valores pico en el espacio de la intensidad del campo, pueden exceder los valores límite, si los valores medios espaciales permanecen dentro de los límites especificados. Con los cálculos o medidas adecuadas los valores límite también pueden resultar menos restrictivos en relación con los límites de la Tasa de Absorción Específicas (TAE).

**B.** Debe restringirse el acceso a esta radiación para limitar los v.c.m. de la corriente corporal y potencial frente a la electroestimulación ( shock por debajo de 0,1 MHz) o al calentamiento perceptible (a, o por encima de 0,1 MHz) de las RF de la forma siguiente (véase Tabla 1, Parte B):

**1.** Para los individuos que no estén en contacto con objetos metálicos, la corriente inducida de RF en el cuerpo humano, medida a través de cada pie, no debe exceder de los valores siguientes:

$$I = 1000 f \text{ mA para } (0,03 < f < 0,1 \text{ MHz}) \text{ promediados en 1 segundo}$$

$$I = 100 \text{ mA para } (0,1 < f < 100 \text{ MHz}) \text{ promediados en 6 minutos, sujeto a un valor techo de 500 mA.}$$

en donde mA = miliamperios

**2.** Para las condiciones de posible contacto con cuerpos metálicos, la corriente de RF máxima, a través de una impedancia equivalente a la del cuerpo humano en condiciones de contacto de agarre, medida con un medidor de corriente de contacto, no debe exceder de los valores siguientes:

$$I = 1000 f \text{ mA para } (0,03 < f < 0,1 \text{ MHz}) \text{ promediados en 1 segundo}$$

$$I = 100 \text{ mA para } (0,1 < f < 100 \text{ MHz}) \text{ promediados en 6 minutos, sujeto a un valor techo de 500 mA.}$$

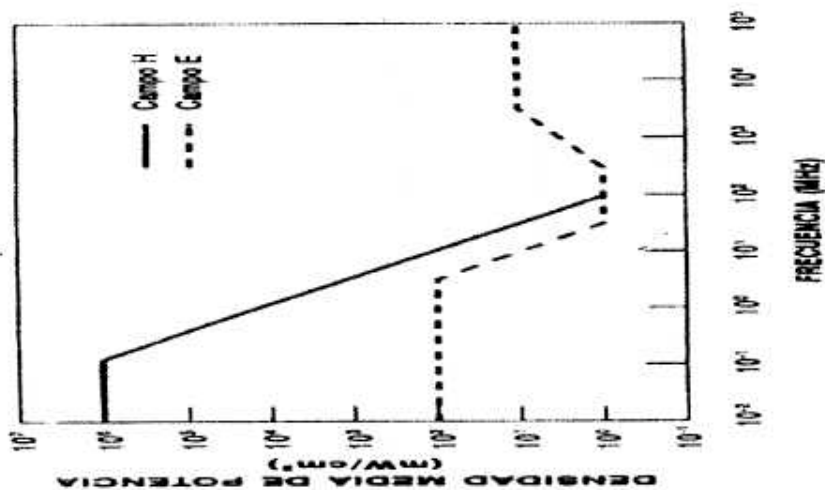
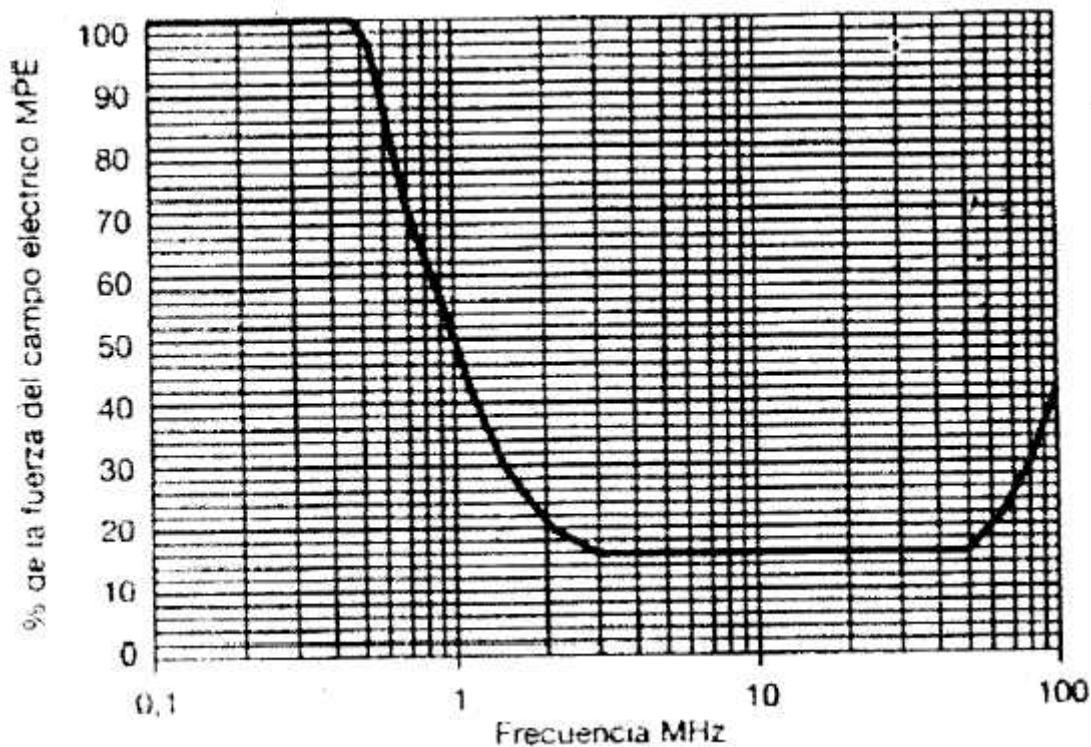


Figura 1. Valores TLV para la radiación de radiofrecuencia/microondas en el puesto de trabajo (TAE para el cuerpo entero  $< 0,4 \text{ W/Kg}</math>.)$

3. El usuario de los valores límite puede determinar adecuadamente el grado de cumplimiento con los límites de esta corriente. La utilización de guantes protectores, la prohibición de objetos metálicos o el entrenamiento del personal, puede ser suficiente para asegurar el cumplimiento con los valores límite en este aspecto. La evaluación de la magnitud de las corrientes inducidas requiere normalmente la medida directa. Sin embargo, no son necesarias las medidas de la corriente inducida y de contacto si el límite de la media espacial de la fuerza del campo eléctrico dado en la Sección A no supera el valor límite a las frecuencias entre 0,1 y 0,45 MHz y no excede los límites que se muestran en la Figura 2 a frecuencias superiores a 0,45 MHz.

R. R. Rivas-2004



**Figura 2.** Valores límite para el porcentaje de la fuerza del campo eléctrico por debajo de los cuales no se requieren límites de la corriente inducida y de contacto desde 0,1 a 100 MHz.

C. Para exposiciones a campos próximos a frecuencias inferiores a 300 MHz, el valor límite aplicable, en términos de los v.c.m. de las fuerzas del campo eléctrico y magnético, se dan en la Tabla 1, Parte A. La densidad equivalente de potencia ( S, en mW/cm<sup>2</sup>) de onda plana puede calcularse a partir de los datos de la medida de la intensidad del campo como sigue:

$$S = \frac{E^2}{3.770}$$

donde: E<sup>2</sup> está en voltios al cuadrado (V<sup>2</sup>) por metro cuadrado (m<sup>2</sup>), y

$$S = 37,7 H^2$$

en donde H<sup>2</sup> está en amperios al cuadrado (A<sup>2</sup>) por metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

El diagrama de la Figura 3 puede ayudar al usuario de los valores límite en las medidas de E, H y de la corriente, en el orden correcto de prioridad.

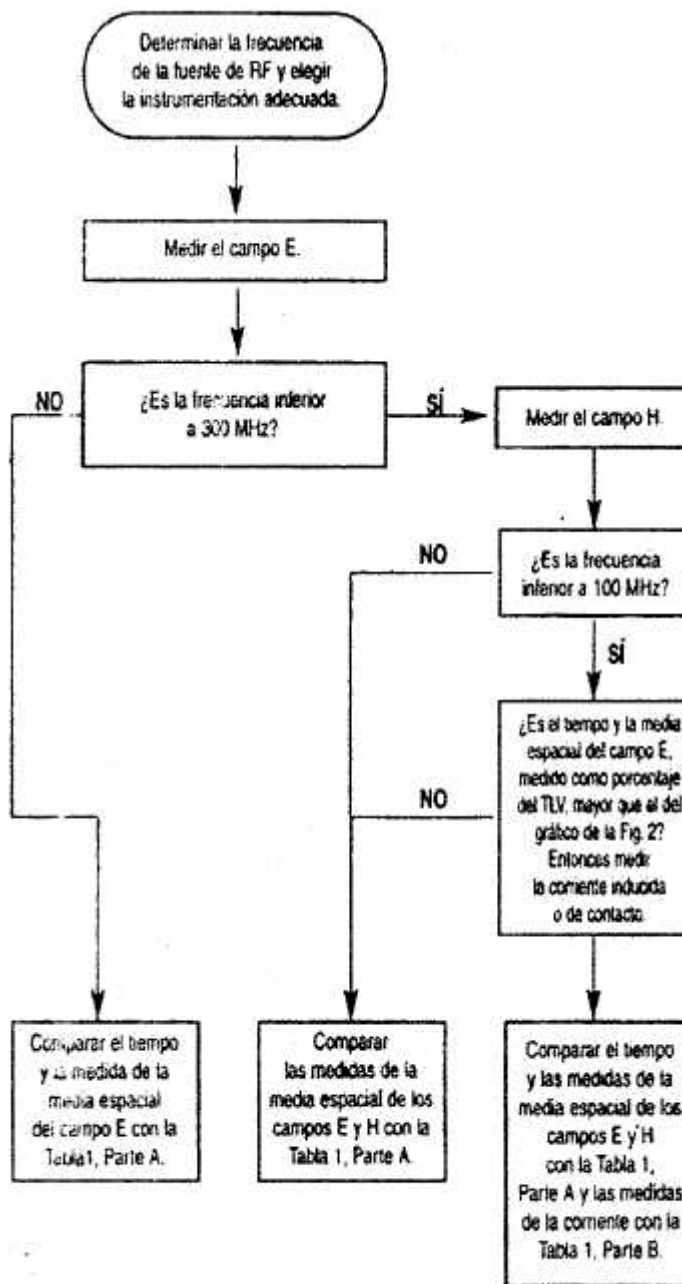


Figura 3. Diagrama para medir E, H y la corriente en el orden correcto de prioridad.

**D.** Para exposiciones a campos de RF pulsantes con duración del pulso inferior a 100 milisegundos (mseg) y frecuencias en el rango de 100 kHz a 300 GHz, el valor límite en términos de pico de densidad de potencia para un único pulso, viene dado por el valor límite de la Tabla 1,

Parte A, multiplicado por el tiempo medio en segundos y dividido por cinco veces la anchura del pulso en segundos, esto es:

$$\text{Valor pico} = \frac{\text{Valor límite} \times \text{tiempo medio (seg)}}{5 \times \text{anchura del pulso (seg)}}$$

Se permite un máximo de cinco pulsos de este tipo durante cualquier período igual al tiempo medio. Si hay más de cinco pulsos durante cualquier período igual al tiempo medio, entonces el valor límite pico está limitado por el proceso normal del valor medio en el tiempo. Para duraciones de pulso mayores de 100 mseg, se aplican los cálculos normales del valor medio en el tiempo.

#### Notas:

1. Se cree que los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente a campos con estos valores límites sin efectos adversos para la salud. No obstante, los trabajadores no deben estar expuestos innecesariamente a niveles superiores de radiación de radiofrecuencia próximas a los valores límite, cuando pueden prevenirse con medidas sencillas.

2. Para mezclas de campos o campos de banda ancha con frecuencias diferentes para las que hay distintos valores del valor límite, debe determinarse la fracción del valor límite (en términos de  $E^2$ ,  $H^2$ , o  $S$ ) para cada intervalo de frecuencia, teniendo en cuenta que la suma de todas las fracciones no debe exceder de la unidad.

3. El valor límite se refiere a los valores medios para cualquier período de 6 minutos (0,1 horas) para frecuencias inferiores a 15 GHz y para períodos más cortos por debajo de 10 segundos a frecuencias superiores a 300 GHz como se indica en la Tabla 1.

4. El valor límite puede sobrepasarse a frecuencias entre 100 kHz y 1,5 GHz, si:

La potencia radiada es  $< 7$  W para frecuencias desde 100 kHz a 450 MHz.

La potencia radiada es  $< 7 (450/f)$  para frecuencias de 450 MHz hasta 1.500 MHz.

Esta exclusión no se aplica a los dispositivos que están colocados en el cuerpo de forma continua. La potencia radiada significa la radiada por la antena en el espacio libre en ausencia de objetos próximos.

5. El valor límite para intensidades del campo electromagnético a frecuencias entre 100 kHz y 6 GHz puede excederse si: a) las condiciones de la exposición pueden ponerse de manifiesto por medio de técnicas apropiadas para dar valores TAE inferiores a 0,4 W/Kg como media en todo el cuerpo y valores pico TAE espaciales que no excedan de 8W/Kg como media en un gramo de tejido (definido como volumen de tejido en forma de cubo), excepto para las manos, las muñecas, los pies y los tobillos, donde los picos TAE espaciales no deberían exceder de los 20 W/Kg como media en 10 gramos de tejido (definido como volumen de tejido en forma de cubo) y b) las corrientes inducidas en el cuerpo están de acuerdo con la guía de la Tabla 1. Los TAE son valores medios para cualquier período de tiempo de 6 minutos. Por encima de 6 GHz puede permitirse que el valor límite sea menos restrictivo en condiciones de exposición parcial del cuerpo.

Deben identificarse las regiones del cuerpo con espacios vacíos (espacios con aire) en donde



volúmenes de 1 ó 10 centímetros cúbicos pueden contener una masa significativamente inferior a 1 ó 10 gramos, respectivamente. Para estas regiones la potencia absorbida debe dividirse por la masa real con ese volumen para obtener los pico TAE espaciales.

La regla de exclusión para los valores TAE citada anteriormente no se aplica para frecuencias entre 0,03 y 0,1 MHz. Sin embargo, todavía puede excederse el valor límite si se demuestra que los valores v.c.m. de la densidad de corriente pico, como media para 1 cm<sup>2</sup> en cualquier área de tejido y 1 segundo, no excede de 35 f mA/cm<sup>2</sup>, en donde f es la frecuencia en MHz.

**6.** La medida de la fuerza del campo de RF depende de varios factores incluyendo las dimensiones de la sonda y su distancia a la fuente.

**7.** Todas las exposiciones deben limitarse a un máximo de intensidad (pico) de campo eléctrico de 100 kV/m.

**TABLA 1**

Valores límites para la radiación de radiofrecuencias y microondas

Parte A. Campos electromagnéticos<sup>A</sup>

f= frecuencia en MHz

Frecuencia	Densidad de potencia (mW/cm <sup>2</sup> )	Intensidad del campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad del campo Magnético H (A/m)	Tiempo medio E <sup>2</sup> , H <sup>2</sup> ó S (minutos)
30 kHz - 100 kHz	-	614	163	6
100 kHz - 3 MHz	-	614	16,3 / f	6
3 MHz - 30 MHz	-	1842/f	16,3 / f	6
30 MHz - 100 MHz	-	61,4	16,3 / f	6
100 MHz - 300 MHz	1	61,4	0,163	6
300 MHz - 3 GHz	f/300	-	-	6
3 GHz - 15 GHz	10	-	-	6
15 GHz - 300 GHz	10	-	-	616.000/f <sup>1,2</sup>

**A.** Los valores de exposición en términos de intensidades de los campos eléctricos y magnéticos, son los valores obtenidos haciendo la media espacial sobre un área equivalente a la vertical de la sección transversal del cuerpo (área proyectada).

Parte B. Corrientes de radiofrecuencias inducida y de contacto<sup>B</sup>

Corriente máxima (mA)

Frecuencia	A través de ambos pies	A través de cada pie	Contacto	Tiempo medio
30 kHz - 100 kHz	2000 f	1000 f	1000 f	1 segundo <sup>c</sup>
100 kHz - 100 MHz	200	100	100	6 minutos <sup>D</sup>

**B.** Debe tenerse en cuenta que los límites de corriente dados pueden no proteger adecuadamente frente a reacciones de sobrecogimiento y quemaduras causadas por las descargas transitorias en el contacto con un objeto activado.

**C.** La I está promediada en el período de 1 segundo.

**D.** La I<sup>2</sup> está promediada en el período de 6 minutos (p.e., para el contacto para cada pie o mano, I<sup>2</sup> t < 60.000 mA<sup>2</sup> - minutos, sujeto a un valor techo de 500 mA).

### Radiación luminosa y del infrarrojo próximo

Estos valores límite se refieren a los valores para la radiación visible e infrarroja próxima en la región de longitudes de onda de 385 nm a 3000 nm y representan las condiciones en las que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos sin efectos adversos para la salud. Estos valores se basan en la mejor información disponible de estudios experimentales y solamente deben usarse como guía para el control de la exposición a la luz y no se los debe considerar como límites definidos entre los niveles seguros y los peligrosos. Al objeto de especificar estos valores límite la radiación del espectro óptico se ha dividido en las regiones que se dan en el cuadro de «Espectro de radiación electromagnética y valores límite relacionados».

#### Valores recomendados

Los valores límite para la exposición laboral de los ojos a la radiación luminosa de banda ancha e infrarroja próxima, se aplican a la exposición en cualquier jornada de trabajo de 8 horas y hay que conocer la radiancia espectral ( $L$ ) y la irradiancia total ( $E$ ) de la fuente medida en los ojos del trabajador. Generalmente, datos espectrales tan detallados de una fuente de luz blanca sólo son necesarios si la luminancia de la fuente sobrepasa el valor de 1 cd/cm<sup>2</sup>. A luminancias inferiores a ese valor, no se sobrepasará el valor límite.

Los valores límite son:

1. Para proteger la retina contra la lesión térmica producida por una fuente de luz visible no se debe sobrepasar la radiancia espectral de la ) cuyos valores se dan en la Tabla 1: Lámpara, comparada con la función  $R$  (

$$\sum_{385}^{1400} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{5}{\alpha t^{1/4}} \quad (1) \Delta$$

en la que  $L_{\lambda}$  viene expresada en W/(cm<sup>2</sup> · sr<sup>\*</sup> · nm) y  $t$  es la duración de la visión (o duración del impulso, si la lámpara es pulsante) expresada en segundos, pero limitada a duraciones de 10 microsegundos (ms) a 10 segundos (s), y  $\alpha$  es la subtensa angular de la fuente en radianes (rad). Si la lámpara es oblonga,  $\alpha$  se refiere a la medida aritmética de las dimensiones más larga y más corta que puedan verse. Por ejemplo, a una distancia de observación  $r = 100$  cm con respecto a una lámpara tubular de longitud  $l = 50$  cm, el ángulo de visión  $\alpha$  es:

$$\alpha = l/r = 50/100 = 0,5 \text{ radianes} \quad (2)$$

(\*) Estéreo-radian

Para duraciones de pulso inferiores a 10 ms, el valor límite es el mismo que para 10 ms. Como el riesgo térmico para la retina frente a las fuentes pulsantes se deriva asumiendo una pupila de 7 mm de diámetro, pupila adaptada a la oscuridad, estos límites de exposición pueden modificarse para las condiciones de luz de día, a menos que las duraciones de la exposición sean superiores a 0,5 segundos.

2 Para proteger la retina contra las lesiones fotoquímicas producidas por la exposición crónica a la luz azul ( $305 < l < 700$  nm), no se debe sobrepasar la radiancia espectral integrada de una fuente luminosa, comparada con la función de riesgo de la luz azul,  $B(l)$ , cuyos valores se dan en

la Tabla 1:

$$\sum_{305}^{700} L_{\lambda} \cdot t \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ J/ (cm}^2 \cdot \text{sr)} \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (3 \text{ a})$$

$$\sum_{305}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 10^{-2} \text{ W/ (cm}^2 \cdot \text{sr)} \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad (3 \text{ b})$$

Al producto ponderado de  $L_{\lambda}$  por  $B(\lambda)$  (se le denomina  $L_{\text{azul}}$ ). Para una fuente de radiancia  $L$ , ponderada con la función de riesgo de la luz azul ( $L_{\text{azul}}$ ) que sobrepasa los  $10 \text{ mW/ (cm}^2 \cdot \text{sr)}$  en la región espectral azul, la duración permisible de la exposición,  $t_{\text{max}}$ , expresada en segundos es simplemente:

$$t_{\text{max}} < \frac{100 \text{ J/ (cm}^2 \cdot \text{sr)}}{L_{\text{azul}}} \quad 10 \text{ s (para } t > 10^4 \text{ s)} \quad (4)$$

Estos últimos límites son mayores que el valor límite para la radiación láser de  $440 \text{ nm}$  (véanse los valores límite para láser), por la precaución necesaria relacionada con los efectos de la banda espectral estrecha en el caso de los valores límite para láser. Para una fuente luminosa que subtienda un ángulo menor de  $11 \text{ mrd}$  ( $0,011 \text{ radianes}$ ), los límites antes indicados se mitigan de modo que la irradiancia espectral ( $E_{\lambda}$ ) ponderada con la función de riesgo de la luz azul  $B(\lambda)$  no sobrepase  $E_{\text{azul}}$ .

$$\sum_{305}^{700} E_{\lambda} \cdot t \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 10 \text{ mJ/ cm}^2 \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (5 \text{ a})$$

$$\sum_{305}^{700} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 1,0 \text{ } \mu\text{W / cm}^2 \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad (5 \text{ b})$$

Para una fuente cuya irradiancia ponderada de la luz azul,  $E_{\text{azul}}$ , sobrepase el valor de  $1 \text{ mW/cm}^2$ , la duración máxima permisible de la exposición,  $t_{\text{max}}$ , en segundos es:

$$t_{\text{max}} < \frac{10 \text{ mJ/cm}^2}{E_{\text{azul}}} \quad (\text{para } t < 10^4 \text{ s}) \quad (6)$$

**3.** Para proteger a los trabajadores que se les ha quitado el cristalino (operación de cataratas) frente a las lesiones fotoquímicas en la retina a la exposición crónica, la función  $B(\lambda)$  puede no dar la indicación adecuada del aumento de riesgo de la luz azul. Aunque a estos trabajadores se les haya colocado quirúrgicamente en el ojo una lente intra-ocular que absorba la radiación ultravioleta (UV) se debe usar la función  $B(\lambda)$  de ajuste en las ecuaciones 3a, 3b, 5a y 5b y extender el sumatorio desde  $305 < \lambda < 700 \text{ nm}$ . Esta función alternativa  $B(\lambda)$  se la denomina función de Riesgo Afáquico,  $A(\lambda)$  (Tabla 1)

## 4. Radiación infrarroja (IR):

a) Para proteger la córnea y el cristalino: para evitar lesiones térmicas en la córnea y posibles efectos retardados en el cristalino (cataractogénesis), la exposición a la radiación infrarroja ( $770 \text{ nm} < \lambda < 3 \text{ mm}$ ) en ambientes calurosos debe limitarse para períodos largos ( $> 1000 \text{ s}$ ) a  $10 \text{ mW/cm}^2$ , y a:

$$\sum_{770}^{3000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 1,8 t^{-3/4} \text{ W/cm}^2 \text{ (para } t < 1000 \text{ s)} \quad (7)$$

b) Para proteger a la retina: para una lámpara calorífica de rayos infrarrojos o cualquier fuente del IR-próximo en la que no existe un fuerte estímulo visual (luminancia inferior a  $10^{-2} \text{ cd/m}^2$ ), la radiancia del IR-A o IR-próximo ( $770 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$ ) contemplada por el ojo debe limitarse a:

$$\sum_{770}^{1400} L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq \frac{0,6}{\alpha} \quad (8) \Delta$$

para períodos superiores a 10 segundos. Para períodos inferiores a 10 segundos, aplicar la ecuación 1 sumada a la del rango de longitud de onda de 770 a 1400 nm. Este límite está basado en una pupila de 7 mm de diámetro (ya que puede no existir la respuesta de rechazo debido a la ausencia de luz) y un detector de visión de campo de 11 mrad.

**D** Las ecuaciones (1) y (8) son empíricas y, en sentido estricto, no son dimensionalmente correctas. Para conseguir que estas fórmulas fueran dimensionalmente correctas, habría que introducir un factor de corrección dimensional,  $k$ , a la derecha del numerador de cada ecuación. Para la ecuación (1) sería  $k_1 = 1 \text{ W} \cdot \text{Rad} \cdot \text{s}^{1/4} / (\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ , y para la ecuación (8),  $k_2 = 1 \text{ W} \cdot \text{rad} / (\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$

**\* Radiación Ultravioleta**

Estos valores límite hacen referencia a la radiación ultravioleta (UV) con longitudes de onda en el aire comprendidas entre 180 y 400 nm y representan las condiciones en las que se cree que casi todos los trabajadores sanos pueden estar expuestos repetidamente sin efectos agudos adversos para la salud tales como eritema y fotoqueratitis. Estos valores para la exposición del ojo o de la piel se aplican a la radiación ultravioleta originada por arcos, descargas de gases o vapores, fuentes fluorescentes o incandescentes y la radiación solar, pero no a los láseres ultravioletas (véanse los valores límite para láser). Estos valores no se aplican a la exposición a radiaciones ultravioletas de individuos sensibles a la luz o de individuos expuestos simultáneamente a agentes fotosensibilizantes (véase la Nota 3). Estos valores no se aplican a los ojos afáquicos (personas a las que se les ha extirpado el cristalino en una intervención quirúrgica por cataratas) [véanse los valores límite para la radiación luminosa y del infrarrojo próximo]. Estos valores deben servir de orientación para el control de la exposición a fuentes continuas cuando la duración de la exposición sea igual o superior a 0,1 segundos.

Estos valores sirven para el control de la exposición a las fuentes de ultravioleta, no debiendo considerárseles como un límite definido entre los niveles seguros y peligrosos.

**Valores límite umbral**

Los valores límite para la exposición laboral a la radiación ultravioleta incidente sobre la piel o los ojos son los siguientes:

*Radiación ultravioleta (180 a 400 nm)*

1. La exposición UV radiante incidente sobre la piel o los ojos sin proteger, no debe sobrepasar los valores indicados en la Tabla 1 en un período de 8 horas. Los valores se dan en julios por metro cuadrado ( $J/m^2$ ) y en milijulios por centímetro cuadrado ( $mJ/cm^2$ ) [Nota:  $1 mJ/cm^2 = 10 J/m^2$ ].

2. El tiempo de exposición en segundos ( $t_{max}$ ) para alcanzar el valor límite de la radiación ultravioleta (UV) que incide sobre la piel o los ojos sin proteger, se puede calcular dividiendo  $0,003 J/cm^2$  por la irradiancia efectiva ( $E_{eff}$ ) en vatios por centímetro cuadrado ( $W/cm^2$ ).

$$t_{max} = \frac{0,003 (J/cm^2)}{E_{eff} (W/cm^2)}$$

En donde:  $t_{max}$  = tiempo máximo de exposición en segundos  
 $E_{eff}$  = irradiancia efectiva de la fuente monocromática a 270 nm en  $W/cm^2$ .

Nota:  $1 W = 1 J/S$

3.- Para determinar la  $E_{eff}$  de una fuente de banda ancha ponderada frente al pico de la curva de efectividad espectral (270 nm), se debe emplear la fórmula siguiente:

$$E_{\text{eff}} = \sum_{180}^{400} E_{\lambda} S(\lambda) \Delta \lambda \quad \text{en la que:}$$

$E_{\text{eff}}$  = irradiancia efectiva relativa a una fuente monocromática a 270 nm en W/cm<sup>2</sup>.

$E_{\lambda}$  = irradiancia espectral en W/ (cm<sup>2</sup> . nm)

$S(\lambda)$  = efectividad espectral relativa (adimensional)

$\Delta \lambda$  = anchura de banda en nm

La  $E_{\text{eff}}$  también puede medirse directamente con un medidor de radiaciones ultravioletas UV que lleve incorporado lectura espectral directa que refleje los valores relativos de la eficacia espectral de la Tabla 1. En cualquier caso, estos valores pueden compararse con los de la Tabla 2.

#### *Región espectral UV- A (315 a 400 nm)*

Además del TLV anteriormente propuesto, la exposición de los ojos sin proteger a la radiación UV-A no debe exceder de los valores sin ponderar siguientes:

1. Una exposición radiante de 1,0 J/cm<sup>2</sup> para períodos de una duración inferior a 1000 segundos.
2. Una irradiancia de 1,0 mW/cm<sup>2</sup> para períodos de una duración de 1000 segundos o superiores. Todos los límites anteriores para la radiación UV se aplican a las fuentes que subtenden un ángulo menor de 80° en el detector. Las fuentes que subtenden un ángulo mayor deben medirse sólo sobre un ángulo de 80°.

Notas:

1. La probabilidad de desarrollar cáncer de piel, depende de una serie de factores tales como la pigmentación de la misma, historial con ampollas producidas por la exposición solar y la dosis UV acumulada.
2. Los trabajadores a la intemperie en latitudes a menos de 40 grados del ecuador, pueden estar expuestos a niveles superiores a los valores límite durante unos 5 minutos hacia el mediodía en el verano.
3. La exposición a la radiación ultravioleta simultánea con una exposición tópica o sistémica a una serie de compuestos químicos, incluyendo algunos medicamentos, puede dar lugar a un eritema dérmico a exposiciones por debajo del valor límite.  
Debe sospecharse de hipersensibilidad si los trabajadores presentan reacciones dérmicas expuestos a dosis inferiores a las del valor límite o cuando expuestos a niveles que no causaron eritemas perceptibles en los mismos individuos en el pasado.  
Entre los cientos de agentes que pueden causar hipersensibilidad a la radiación ultravioleta, están ciertas plantas y compuestos tales como algunos antibióticos (p.e tetraciclina y sulfatiazol), algunos antidepresivos (p.e. imipramina y sinecuan) así como algunos diuréticos, cosméticos, fármacos antipsicóticos, destilados del alquitrán de hulla, algunos colorantes o el aceite de lima.

4.- En el aire se produce ozono por las fuentes que emiten radiación UV a longitudes de onda por debajo de 250 nm. Consúltense el valor límite del ozono en la lista de compuestos químicos.

TABLA 1

Valor límite para la radiación ultravioleta y la efectividad espectral relativa

Longitud de onda (nm)	Valor límite (J/m <sup>2</sup> ) $\Delta$	Valor límite (mJ/cm <sup>2</sup> ) $\Delta$	Efectividad espectral Relativa S ( $\lambda$ )
180	2500	250	0,012
190	1600	160	0,019
200	1000	100	0,030
205	590	59	0,051
210	400	40	0,075
215	320	32	0,095
220	250	25	0,120
225	200	20	0,150
230	160	16	0,190
235	130	13	0,240
Longitud de onda (nm)	Valor límite (J/m <sup>2</sup> ) $\Delta$	Valor límite (mJ/cm <sup>2</sup> ) $\Delta$	Efectividad espectral Relativa S ( $\lambda$ )
240	100	10	0,300
245	83	8,3	0,360
250	70	7,0	0,430
254#	60	6,0	0,500
255	58	5,8	0,520
260	46	4,6	0,650
265	37	3,7	0,810
270	30	3,0	1,000
275	31	3,1	0,960
280#	34	3,4	0,880

TABLA 2

Duración de la exposición en determinadas irradiancias efectivas de radiación UV actínica

Duración de la exposición por día	Irradiancia efectiva Eeff ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
8 horas	0,1
4 horas	0,2
2 horas	0,4
1 hora	0,8
30 minutos	1,7
15 minutos	3,3
10 minutos	5
5 minutos	10
1 minuto	50
30 segundos	100
10 segundos	300
1 segundo	3000
0,5 segundos	6000
0,1 segundos	30000

