

Radiaciones ópticas: metodología de evaluación de la exposición laboral

Rayonnements Optiques. Méthodologie pour évaluer l'exposition des travailleurs
Optical Radiations. Methodology to assess the occupational exposure

Redactoras:

Beatriz Diego Segura
Licenciada en Ciencias Químicas

M^a José Rupérez Calvo
Doctora en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
NUEVAS TECNOLOGÍAS

1. INTRODUCCIÓN

Con la aprobación y entrada en vigor de las directivas de vibraciones, ruido, campos electromagnéticos y la publicación, en el Diario Oficial de la Unión Europea del 27 de abril de 2006, de la directiva de radiaciones ópticas, se cierra el bloque legislativo destinado a regular la exposición de los trabajadores a los agentes físicos.

Esta NTP pretende facilitar la comprensión y aplicación de la Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales).

2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Las radiaciones ópticas (ultravioletas UV, visibles e infrarrojas IR) son la parte del espectro electromagnético con longitudes de onda comprendidas entre los 100 nm y 1 mm. Están presentes en numerosos puestos de trabajo, aunque sólo las fuentes no protegidas de elevada intensidad pueden suponer un riesgo laboral.

La metodología aquí descrita quiere ser una guía para todos aquellos técnicos de prevención que tengan que realizar una evaluación de puestos de trabajo (PT) con exposición a estas radiaciones. Está desarrollada en forma de diagramas de flujo, que sintetizan cada una de las etapas de la evaluación. No obstante, debido a la extensión limitada de estas Notas Técnicas de Prevención, se recomienda, ante cualquier duda, consultar el texto original de la Directiva 2006/25/CE, así como el resto de las referencias de la bibliografía. La figura 1 describe el "Diagrama General de la Metodología".

Primer paso. Identificación del peligro

La identificación del peligro es el punto de partida de cualquier evaluación de riesgos. En el caso que nos ocupa, esta etapa es de vital importancia porque las radiaciones ópticas están presentes en todos los puestos de trabajo, pero sólo bajo ciertas condiciones se consideran un riesgo que sea necesario evaluar. Cuando las

fuentes de emisión estén encerradas o no sean accesibles, lógicamente no será necesario evaluarlas. Eso sí, hay que asegurarse de que no se realicen operaciones esporádicas en las que los trabajadores puedan verse implicados, como por ejemplo, las operaciones de limpieza y mantenimiento.

En la figura 2 se enumeran una serie de fuentes de exposición y actividades consideradas potencialmente peligrosas, junto con las bandas o rangos espectrales asociados a cada una de ellas.

Segundo paso. Cumplimiento de las normas técnicas

En prevención de riesgos laborales, las normas técnicas son herramientas que permiten simplificar gran parte del trabajo del técnico de prevención. La segunda etapa de esta metodología se centra precisamente en aquellos puestos de trabajo que, por su complejidad, han sido ampliamente estudiados a lo largo del tiempo. El fruto de este estudio son una serie de normas que permiten controlar los riesgos específicos asociados a cada puesto.

Como la elaboración de normas técnicas aumenta constantemente, siempre conviene consultar el catálogo de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) para comprobar si el puesto de trabajo cuenta o no con alguna norma aplicable.

En el diagrama de la figura 3 se citan algunas actividades que cuentan con normas o criterios de aplicación específica.

Aunque la Directiva 2006/25/CE sólo afecta a las fuentes artificiales, el Sol es la principal fuente de radiación óptica de nuestro planeta. Por tanto, los riesgos derivados de la exposición solar también deben de ser evaluados dentro del marco establecido por la Ley 31/1995.

Son muchas las variables que intervienen en los puestos de trabajo con exposición a la radiación solar. La zona geográfica, la hora del día, las condiciones meteorológicas y el tipo de piel del trabajador son sólo algunos ejemplos. Por eso es aconsejable seguir las recomendaciones que ofrece diariamente el Instituto Nacional de Meteorología sobre protección solar, a través de su página web (<http://www.inm.es/web/infmet/predi/ulvip.html>).

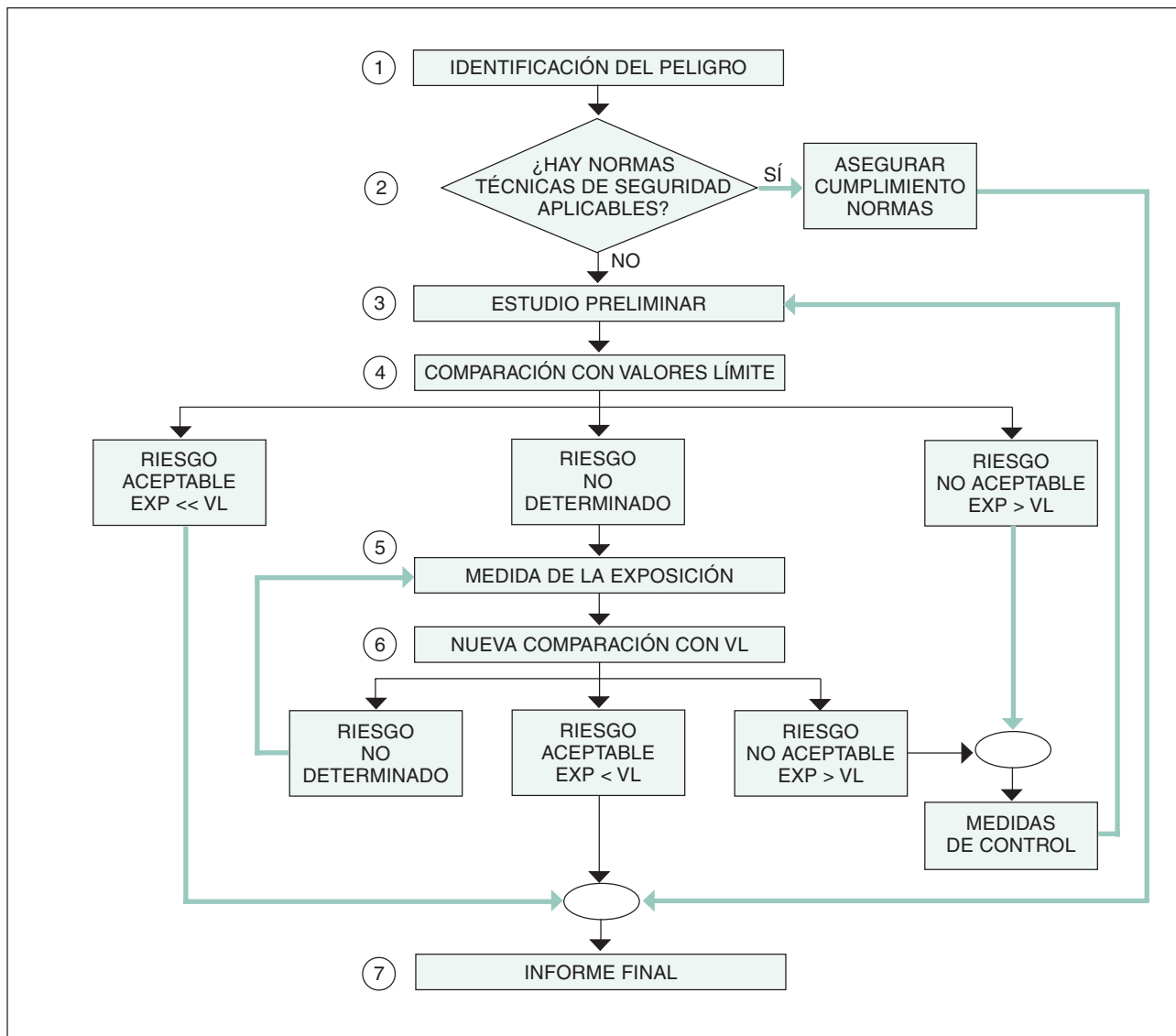


Figura 1. Diagrama General de la Metodología

Fuentes y actividades potencialmente peligrosas	Tipo de radiación
Exposición solar. Soldadura y técnicas relacionadas. Lámparas de Hg de alta y media presión. Lámparas de Xe para artes gráficas.	UV + Visible + IR
Curado de resinas y polimerización barnices. Lámparas para fototerapia y solariums.	UV , visible
Lámparas de Hg de baja presión (germicidas, luz negra y actínicas).	UV
Trabajos con masas en fusión.	IR posible Visible y UV
Láseres de clase 3B y 4 de camino óptico abierto.	UV, Visible o IR

Figura 2. Lista no exhaustiva de fuentes y actividades con exposición a radiaciones ópticas.

Tercer paso. Estudio preliminar

El objetivo de la tercera fase de esta metodología es poder hacer un cálculo aproximado o una estimación de la exposición. Para ello, es necesario realizar una recogida de información pormenorizada centrada especialmente en:

- Los factores relacionados con la fuente.
- Los factores del entorno de trabajo.
- Los factores asociados al trabajador.

Las fuentes radiantes se caracterizan fundamentalmente por su intervalo espectral (ultravioleta, visible y/o infrarrojo) y por la potencia o energía que son capaces de emitir en forma de radiación (potencia o energía radiante). Dependiendo del tipo de emisión, continua o discontinua (pulsante), la magnitud a considerar será la energía radiante o la potencia radiante. Para las emisiones continuas se utiliza la potencia radiante expresada en vatios (W) y para las fuentes de emisión discontinua se emplea la energía radiante en julios (J).

Además de caracterizar la fuente de emisión hay que tener en cuenta el ambiente de trabajo. La existencia de reflexiones, la distancia entre el foco y el trabajador, el tiempo de exposición y la existencia o no de un procedi-

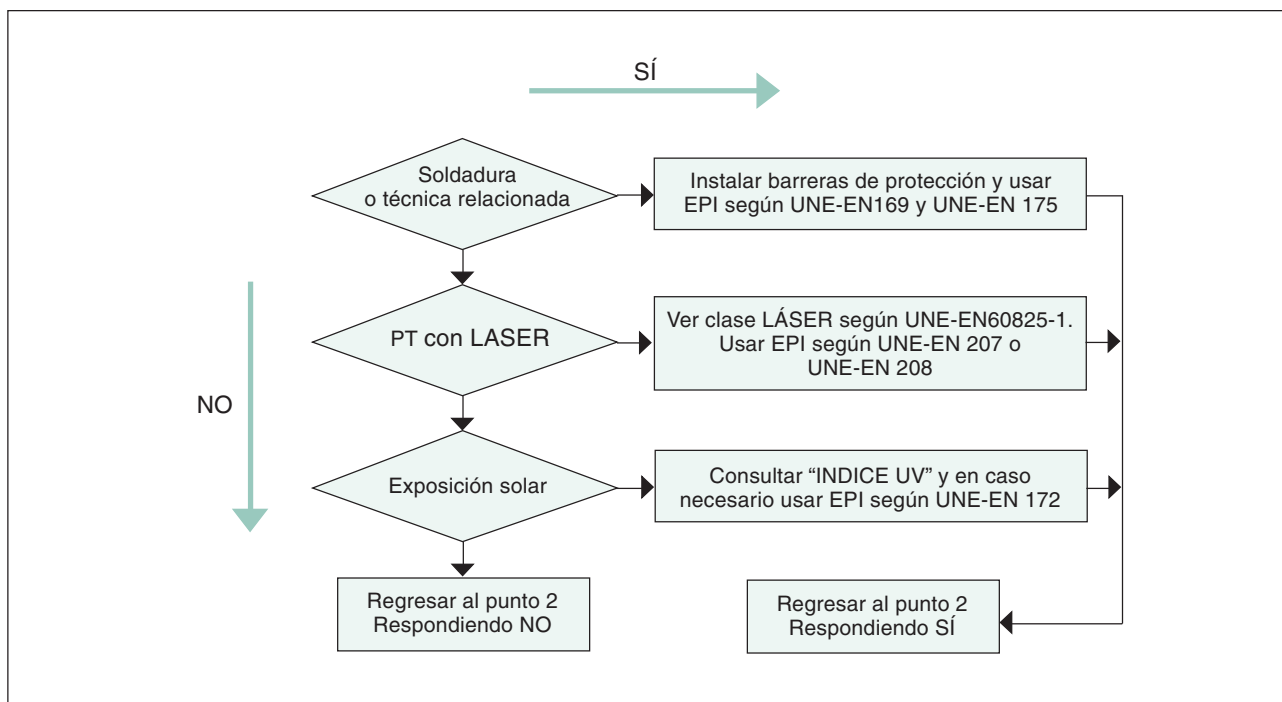


Figura 3. Algunas normas técnicas de uso habitual

FUENTE	PUESTO	TRABAJADOR
Rango espectral	Procedimiento de trabajo	Formación e información
Potencia radiante	Tiempo de exposición	Órgano expuesto
Energía radiante	Ángulo subtendido	Uso de EPI
Divergencia	Distancia a la fuente	
	Puesto móvil o fijo	

Figura 4. Información necesaria para el estudio preliminar

miento de trabajo, son sólo algunos datos muy importantes que deben ser analizados.

Por último, los factores personales más importantes son la parte del cuerpo expuesta, el uso de equipos de protección individual y la formación e información que han recibido los trabajadores.

Con toda esta información ya se puede estimar la exposición realizando un cálculo aproximado, siempre tomando como referencia las condiciones más desfavorables para asegurar la máxima protección del trabajador.

La fórmula siguiente es la manera más sencilla de calcular la exposición. Para poder aplicarla se han de cumplir dos condiciones: que la fuente sea constante en el tiempo y que la distancia entre la fuente y el puesto de trabajo sea suficientemente grande ($\text{Distancia}_{\text{PT-fuente}} \geq 10 \cdot \text{Tamaño}_{\text{fuente}}$).

$$E(\text{W/m}^2) = \frac{P}{4\pi \cdot d^2}$$

P es la potencia radiante, expresada en vatios y d la distancia a la fuente en metros. El resultado es una estima-

ción de la exposición (irradiancia), comparable directamente con los valores límite.

Cuarto paso. Comparación con los valores límite

El aspecto más novedoso de la nueva Directiva Comunitaria de Radiaciones Ópticas es el establecimiento de unos valores límite de exposición (VL). En el artículo 2 quedan definidos como: "los límites de la exposición a la radiación óptica basados directamente en los efectos sobre la salud comprobados y en consideraciones biológicas. El cumplimiento de estos límites garantizará que los trabajadores expuestos a fuentes artificiales de radiación óptica estén protegidos contra todos los efectos adversos para la salud que se conocen".

La Directiva en su artículo 4 recomienda evaluar los riesgos de equipos láser mediante su clasificación de riesgo (ver UNE-EN 60825-1 y NTP 654). Esto evita la utilización de límites de exposición específicos para láser y por eso no se hace referencia a ellos en esta NTP.

Los valores límite para radiación óptica están basados en las recomendaciones del ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación no Ionizante). Se apoyan en los resultados de estudios experimentales y epidemiológicos y se han establecido por debajo de los umbrales de eritema, foto-queratitis y foto-retinitis. Son unos límites complejos que dependen del rango espectral, el ángulo subtendido por la fuente y el tiempo de exposición.

Las magnitudes radiométricas más importantes son la radiancia (L), la irradiancia (E) y la exposición radiante (H). Cada una de ellas se utiliza para evaluar una banda espectral, y para determinados riesgos, los valores límite deben ponderarse espectralmente.

En la figura 5 se exponen los valores límite de forma resumida. Por ejemplo, si se está evaluando el riesgo de exposición de los ojos a la radiación UVA, la magnitud a evaluar será la Exposición Radiante (H), y el valor límite será 10^4 J/m^2 para un tiempo de exposición de 8 horas.

En el caso de que la fuente sea de amplio espectro y

LONGITUD DE ONDA	ÓRGANO	RIESGO	TIEMPO	ÁNGULO EXPOSICIÓN	VALOR LÍMITE SUBTENDIDO	UNIDADES
180 - 400 nm UV	PIEL OJOS	Eritemas/Cáncer piel Queratitis/Conjuntivitis	8 horas	—	$H_s = 30$	J/m ²
315- 400 nm UVA	OJOS	Cataratas	8 horas	—	$H = 10^4$	J/m ²
300 – 700 nm UVA – VISIBLE	OJOS	Retinitis	$t \leq 10^4$ s	$\alpha \geq 11$ mrad	$L_B = 10^6/t$	W/m ² sr
				$\alpha < 11$ mrad	$L_B = 100$	
			$t > 10^4$ s	$\alpha \geq 11$ mrad	$E_B = 100/t$	W/m ²
				$\alpha < 11$ mrad	$E_B = 0,01$	
380 – 1400 nm UVA – VISIBLE – IRA	OJOS	Quemadura retina	$t > 10$ s	C = 1,7 si $\alpha \leq 1,7$ mrad C = α si $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad C = 100 si $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 2,8 \cdot 10^7/C$	W/m ² sr
			$10^{-6} \leq t \leq 10$ s		$L_R = 5 \cdot 10^7/C \cdot t^{0,25}$	
780 – 1400 nm IRA	OJOS	Quemadura retina	$t > 10$ s	C = 11 si $\alpha \leq 11$ mrad C = α si $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad C = 100 si $\alpha > 100$ mrad	$L_R = 6 \cdot 10^6/C$	W/m ² sr
			$10^{-6} \leq t \leq 10$ s		$L_R = 5 \cdot 10^7/C \cdot t^{0,25}$	
780 – 3000 nm IR	OJOS	Quemadura córnea Cataratas	$t \leq 10^3$ s	—	$E = 18 \cdot 10^3 \cdot t^{0,75}$	W/m ²
			$t > 10^3$ s		$E = 100$	
380 – 3000 nm UVA – VISIBLE – IR	PIEL	Quemaduras piel	$t < 10$ s	—	$H = 20 \cdot 10^3 \cdot t^{0,75}$	J/m ²

Figura 5. Valores Límite de Exposición

abarque más de una banda espectral, por ejemplo ultravioleta y visible o visible e infrarrojo, se deberán cumplir todos los valores límite afectados.

Después seleccionar el límite con el que hay que comparar el dato obtenido del estudio preliminar, se procede a la toma de decisiones. Teniendo en cuenta que no se ha hecho todavía ninguna medición y que la fórmula empleada en la estimación es bastante aproximada, sólo cuando la exposición estimada sea mucho menor que el valor límite se podrá hablar de “riesgo aceptable”.

Hasta que no se desarrollen Normas Técnicas para evaluar y estimar la exposición a radiación óptica, tal y como establece la Directiva 2006/25/CE en su artículo 4.1, el límite entre lo que se considera “riesgo aceptable” y “riesgo no aceptable”, debe establecerlo el técnico de prevención, basándose en las características del puesto de trabajo y en su propia experiencia profesional.

Si el riesgo se considera “no aceptable”, se deberán adoptar directamente las medidas correctoras y volver a realizar el estudio preliminar. Cuando no sea posible clasificar el riesgo como “aceptable” pero tampoco como “no aceptable” habrá que diseñar una estrategia de medición.

Quinto paso. Medida de la exposición

La capacidad de las radiaciones ópticas para producir un daño biológico varía en función de la longitud de onda. A partir de los datos biofísicos obtenidos en los estudios experimentales, se han establecido umbrales de daño biológico. Las curvas de ponderación corrigen la medida de la exposición para cada uno de los efectos descritos. Existen tres curvas de ponderación diferentes:

- $S(\lambda)$ o efectividad espectral para el UV (180-400 nm).
- $B(\lambda)$ o función de riesgo fotoquímico (luz azul) en la retina (300-700 nm).
- $R(\lambda)$ o función de riesgo térmico en la retina (380-1400 nm).

Los coeficientes de estas tres funciones no están reproducidos en esta NTP por su gran extensión, pero se encuentran detallados en las tablas 1.2 y 1.3 del Anexo I de la Directiva 2006/25/CE.

Un aspecto fundamental de esta fase es la elección de los puntos de medida. Éstos deben ser suficientes, tanto en número como en posición, y tienen que reflejar fielmente la posición o posiciones del trabajador a lo largo de la jornada laboral.

Existen en el mercado dos tipos de instrumentos de medida: radiómetros y espectrorradiómetros. Los primeros son equipos sencillos, de fácil manejo y con una buena calidad de medida. Proporcionan directamente un valor numérico de la radiancia e irradiancia y en el caso de los radiómetros integradores también de la exposición radiante. Los radiómetros constan de dos partes: la unidad central y el detector o detectores. Para poder evaluar correctamente todos los riesgos, hay que contar con los siguientes detectores:

- Para el ultravioleta, un detector para el rango 315-400 nm sin ponderar y un detector para todo el rango UV (180-400 nm) ponderado con $S(\lambda)$.
- En el visible: para el riesgo fotoquímico (380 - 550 nm), un detector ponderado con $B(\lambda)$; si el riesgo es térmico (380 - 1400 nm), un detector ponderado con $R(\lambda)$.
- Para el infrarrojo: un sensor para todo el rango del infrarrojo sin ponderar y un sensor ponderado con la curva $R(\lambda)$ para el rango del IRA (780 – 1400 nm).

Los espectrorradiómetros son equipos bastante más complejos que, además de la información que proporcionan los radiómetros, generan un espectro de la fuente, con el que se puede calcular manualmente, tanto las magnitudes totales como las ponderadas a partir de las siguientes fórmulas:

- Radiancia e irradiancia total:

$$L = \sum_i L_i \cdot \Delta\lambda$$

$$E = \sum_i E_i \cdot \Delta\lambda$$

- Radiancia e irradiancia ponderadas:

$$L_{\text{curva}} = \sum_i L_i \cdot \text{Curva}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$E_{\text{curva}} = \sum_i E_i \cdot \Delta\lambda$$

Sexto paso. Nueva comparación con VL

Esta nueva comparación con los valores límite, es la consecuencia lógica de la fase de medida. Este proceso es similar al de la etapa número cuatro. Consiste en obtener el valor límite para el riesgo y longitud de onda adecuados y compararlo con el valor, en este caso, medido.

Si el cociente de los dos valores está próximo a la unidad, el riesgo sigue calificándose de “no determinado” y habrá que afinar más en el proceso de medida. Si por el contrario el riesgo es “aceptable”, la metodología concluye con la elaboración del informe final.

Séptimo paso. Informe final

Una vez finalizada la evaluación de los puestos de trabajo, toda la información debe quedar reflejada en un informe final que debe de estar redactado de forma clara, para que sea comprensible por sus destinatarios.

Un buen informe debería hacer referencia al menos a los siguientes puntos:

- Objeto del informe.
- Información general (nombre de técnico responsable, trabajadores entrevistados, datos de la empresa...).
- Descripción de las instalaciones, del puesto de trabajo y características de la fuente emisora.
- Esquema de la instalación con la situación de los puntos de medida.
- Descripción de los puestos de trabajo evaluados.
- Metodología de medida empleada con la descripción de los equipos y la fecha de su última calibración.
- Resultado de las mediciones con sus incertidumbres así como la comparación con los valores límite de exposición.
- Recomendaciones, en caso de ser necesarias, y por último
- Conclusiones.

3. MEDIDAS DE CONTROL

Pueden adoptarse cuando una evaluación de riesgos concluye con el resultado de «riesgo no aceptable», o bien estar integradas desde la fase de diseño para evitar los riesgos en origen. En algunos trabajos puntuales, como la soldadura por arco o los trabajos al aire libre, hay que proteger directamente al trabajador con los EPI específicos para cada puesto trabajo.

La figura 6 es un resumen de las principales medidas que se utilizan para controlar los riesgos por exposición a radiación óptica.

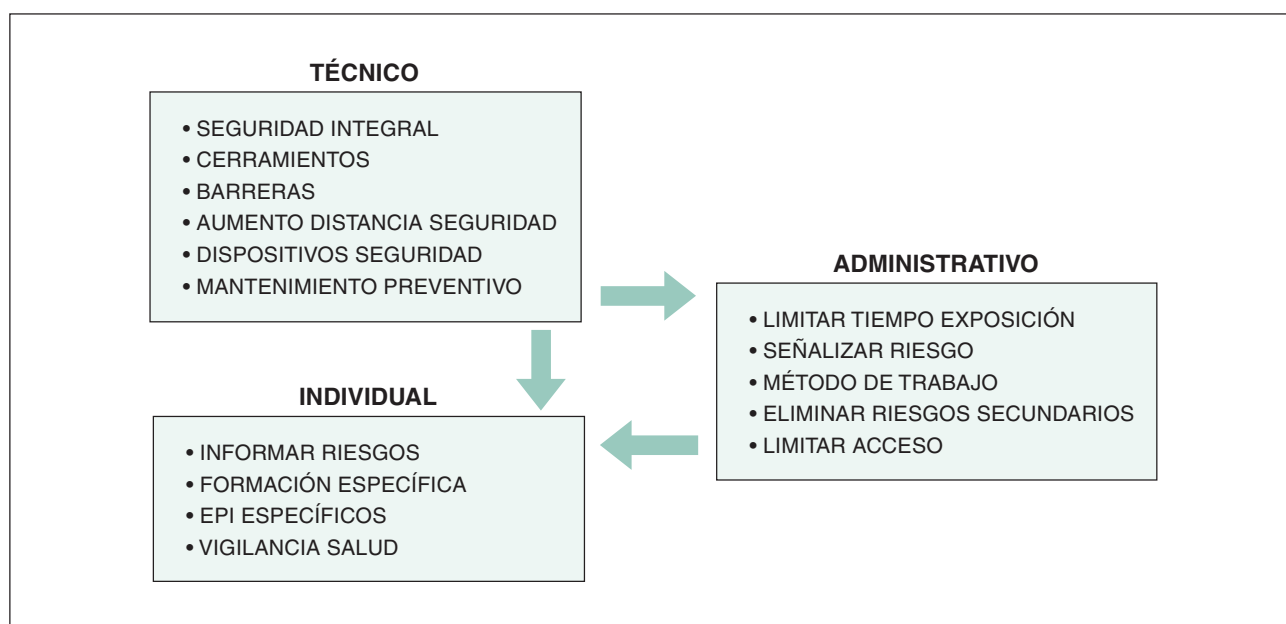


Figura 6. Medidas de control de la exposición

BIBLIOGRAFÍA

- (1) DIRECTIVA 2006/25/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de abril de 2006 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales). DOVE L144 27.4.2006.
- (2) UNE-EN 169:2003 “Protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado”.
- (3) UNE-EN 175:1997 “Protección individual. Equipos para la protección de los ojos y la cara durante la soldadura y técnicas afines”.
- (4) UNE-EN 170:2003 “Protección individual de los ojos. Filtros para el ultravioleta. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado”.

- (5) UNE-EN 171:2002 "Protección individual de los ojos. Filtros para el infrarrojo. Especificaciones del coeficiente de transmisión (transmitancia) y uso recomendado".
- (6) UNE-EN 172:1995 "Protección individual del ojo. Filtros de protección solar para uso laboral". Con el complemento de UNE-EN 172/A1:2000 y UNE-EN 172/A2:2002.
- (7) UNE EN 60825-1 "Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía de seguridad" 1996. Modificada por: UNE EN 60825-1/A11: 1997 y con el complemento UNE EN 60825-1/A2: 2002.
- (8) UNE EN 207: 1999 "Filtros y protectores de los ojos contra la radiación láser (gafas de protección láser)". Con el complemento de UNE EN 207/A1: 2003.
- (9) UNE EN 208: 1999 "Gafas de protección para los trabajos de ajuste de láser y sistemas láser (gafas de ajuste láser)". Con el complemento de UNE EN 208/A1: 2003.
- (10) DIEGO B, RUPÉREZ M.J.
Láseres: nueva clasificación del riesgo (UNE EN 60825-1/A2: 2002)
Nota Técnica de Prevención NTP-654. INSHT 2005
- (11) RUPÉREZ M.J.
Láseres: riesgos en su utilización
Nota Técnica de Prevención NTP-261. INSHT 1991
- (12) ARMENDARIZ P, RUPÉREZ M.J
Riesgos por radiaciones ópticas procedentes de fuentes luminosas
Ed. INSHT 1998. ISBN 84-7425-451-5
- (13) RUPÉREZ, M.J
La exposición laboral a radiaciones ópticas
Ed. INSHT 1996. ISBN 84-7425-496-5
- (14) RUPÉREZ, M.J., CABRERA, J.A,
Algunas cuestiones sobre seguridad láser
Ed. INSHT, 1996. ISBN 84-7425-434-5.
- (15) ALONSO, F.
Riesgos en operaciones de soldadura
Ed. INSHT 2004. ISBN 84-7425-674-7
- (16) RUPÉREZ, M.J.
Curso de Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales: Módulo 3. U.D 3.11, y Especialidad Higiene Industrial. U.D 3.4.

Páginas Web:

<http://www.inm.es>

<http://www.aenor.es>

<http://www.icnirp.org>