

Protección de riesgos laborales de trabajadores que utilizan **SOPLLETE AUTÓGENO**

En el mundo laboral existen profesiones de especial riesgo en las que se realizan procesos de soldadura, que pueden deteriorar la retina. Los gremios más afectados son los trabajadores de empresas automovilísticas, siderometalúrgicas, instaladores de aire acondicionado y calefacción. Aunque la normativa vigente obliga a la empresa a proporcionar a sus empleados los elementos protectores frente a la radiación nociva emitida por el soplete, no los suelen utilizar debido al excesivo oscurecimiento de las lentes, ya que la falta de visión origina accidentes laborales por quemaduras o errores. Por ello, prefieren soldar sin protección, lo que les hace propensos a sufrir graves daños retinianos irreversibles, incluso escotomas absolutos de importancia relevante.

Este trabajo propone nuevos filtros protectores que permitan, a la vez, la fotoprotección retiniana y la visibilidad del campo de trabajo. Para ello se ha analizado el espectro de emisión del soplete y se han diseñado los filtros necesarios para absorber las bandas nocivas emitidas por éste, dando lugar a un prototipo. Posteriormente se han evaluado varios aspectos de la percepción visual con la interposición del nuevo filtro propuesto por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y de otro filtro convencional para soldadura. Los resultados obtenidos muestran que el filtro UCM es una lente de protección óptima para realizar trabajos de soldadura oxiacetilénica, siendo propuesto como filtro de referencia a los organismos competentes para su homologación.

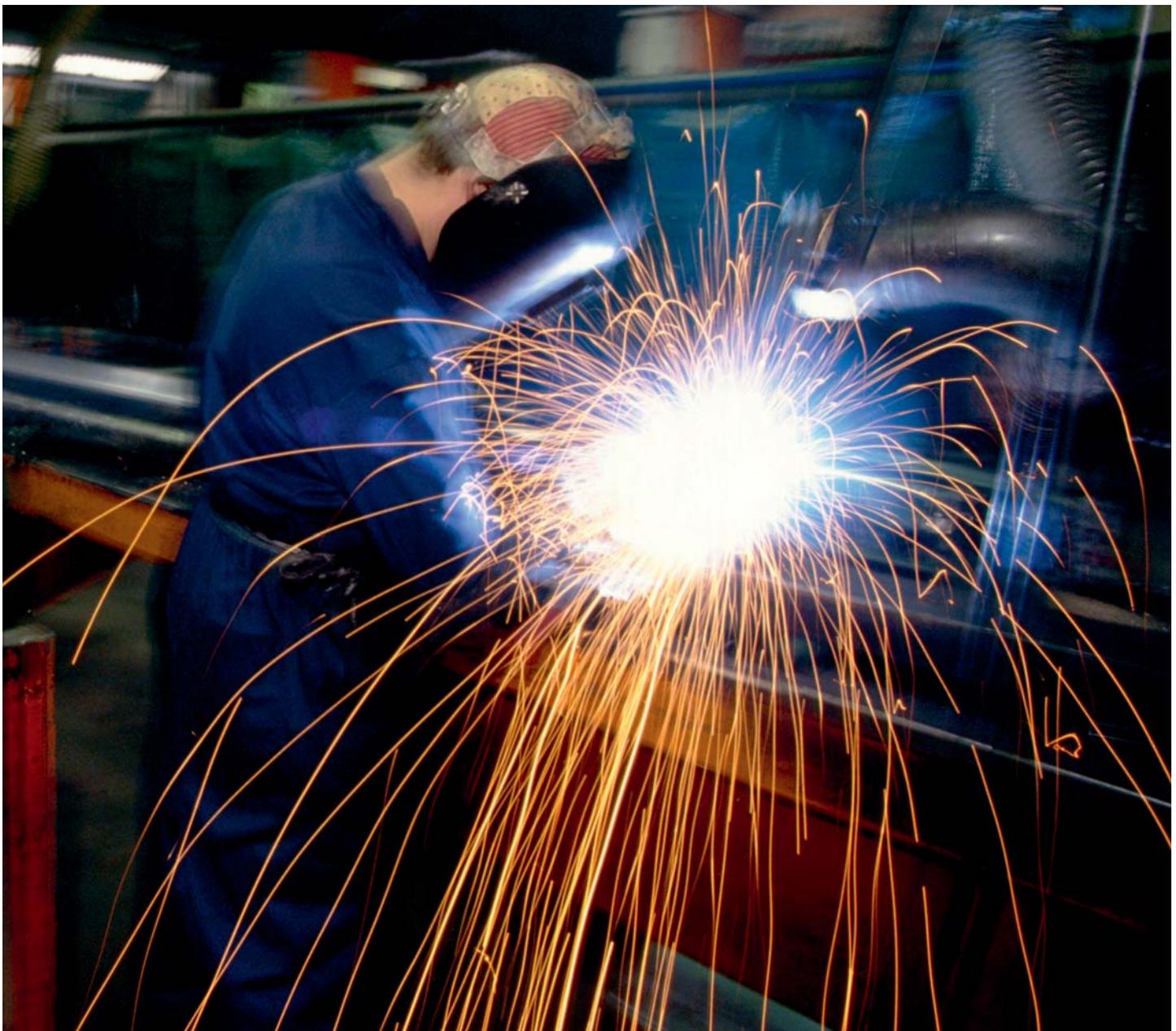
Por CRISTINA BONNIN-ARIAS, EVA CHAMORRO-GUTIÉRREZ, GUILLERMO RAMÍREZ-MERCADO, LUIS-LUCIO LOBATO-RINCÓN, JUAN JOSÉ NAVARRO VALS Y CELIA SÁNCHEZ-RAMOS.



Para una mejor comprensión de este trabajo es preciso recordar algunos conceptos relacionados con la luz y otras radiaciones. Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas que se extienden desde la radiación de menor longitud de onda, co-

mo los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Concretamente, se denomina luz visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de

percibir y que corresponde a un rango de longitudes de onda que va desde 380nm (longitud de onda corta) a 780nm (longitud de onda larga). Cercano al extremo de 380 nm se encuentran las radiaciones ultravioleta y próximos a los 780nm están las radiaciones infrarrojas (figura 1).



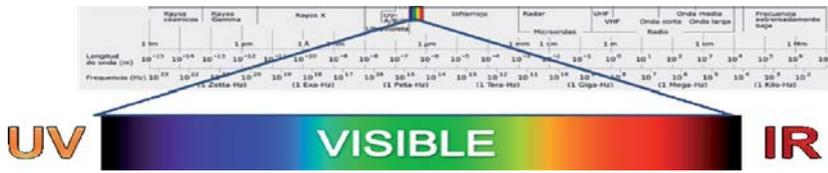


Figura 1. Esquema de las radiaciones electromagnéticas, diferenciando en los distintos tipos de espectros según la longitud de onda.

La energía electromagnética de una onda con determinada longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia asociada y una energía de fotón. Por lo tanto, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía, mientras que las ondas de baja frecuencia tienen longitudes de onda larga y poca energía (figuras 2 y 3).

Ya en 1966 Noell demostró que la luz ultravioleta y azul (longitudes de onda corta del espectro visible) afectan negativamente a los ojos (retina) debido a que, como se explicó en el párrafo anterior, estas radiaciones poseen mayor energía que las de mayor longitud de onda. Así, clásicamente se han diferenciado tres tipos de lesiones producidas por la luz: las fotomecánicas (efectos de choque de las ondas luminosas), las foto-térmicas (calor local producido por las ondas) y las fotoquímicas (cambios en las macromoléculas). Actualmente se conocen con bastante precisión los cambios en la retina inducidos por la luz (Wenzel, 2005; Wu, 2006). Por tanto, de todo lo anterior se deduce que la luz, si bien es necesaria para la visión, puede dañar partes del sistema visual al ser absorbida por sus tejidos. La porción de energía absorbida en cualquier tejido depende de la transparencia de éste para radiación incidente y es un factor importante a la hora de determinar el tipo de efectos fotobiológicos que produce. La acción mecánica subyace básicamente del impacto rápido de energía en los me-

lanosomas del epitelio pigmentario, que genera ondas de choque. Éstas causan un daño irreparable a los fotorreceptores y al epitelio pigmentario, denominado daño fotomecánico.

El efecto nocivo en el tejido puede resultar de unas fuerzas mecánicas compresoras o tensoras, que conducen a la formación de burbujas que son letales tanto para el epitelio pigmentario como para otras células. El efecto es causado por altas irradiaciones (en el rango me-

gawatios/cm²) y cortos periodos de exposición (en el rango nanosegundos a picosegundos) durante los cuales la energía es absorbida tan rápidamente por los gránulos de melanina en el epitelio pigmentario que la dispersión de calor no puede tener lugar.

Por otro lado, conviene definir el daño fototérmico. Un *quantum* de energía radiante (un fotón) puede ser absorbido por una molécula solo si la energía del fotón equipara a la diferencia de energía entre el nivel de energía normal de una molécula y el máximo nivel de energía permitido. Los estados rotacionales y vibracionales de los *quantum* de las moléculas predominan sobre los estados de excitación por las longitudes de onda más largas en el espectro «visible» y en el infrarrojo cercano (700-1400nm). La vibración de energía ganada por la molécula es rápidamente

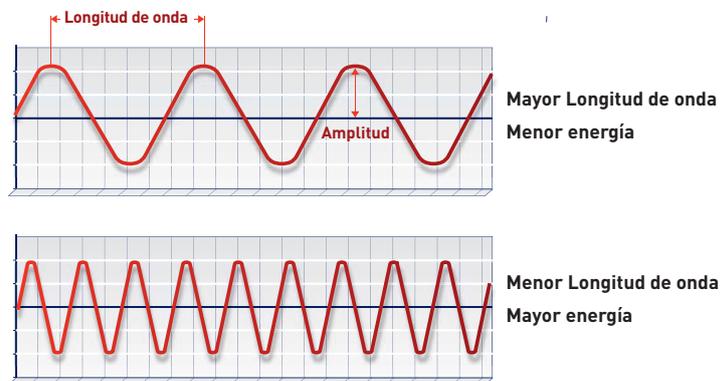


Figura 2. Esquema que diferencia gráficamente radiaciones con longitudes de onda larga y corta, respectivamente.

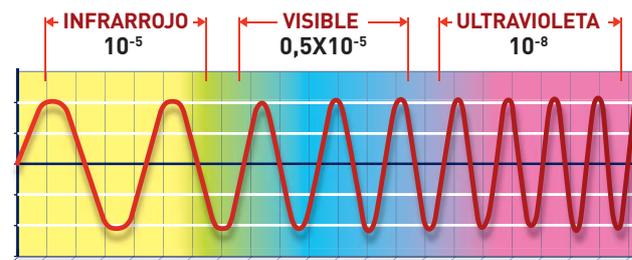


Figura 3. Diagrama de longitudes de onda de tres tipos de radiaciones.

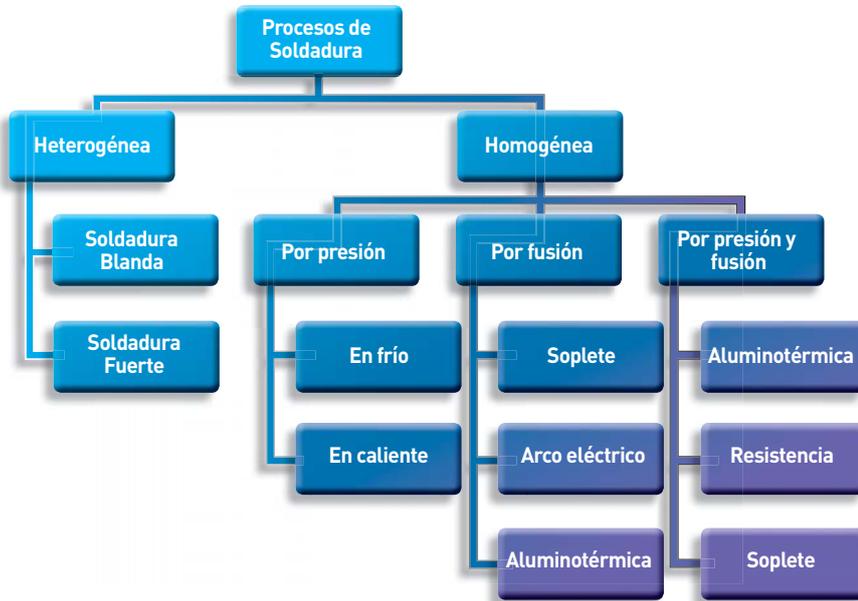


Figura 4. Esquema de clasificación de los diferentes tipos de soldadura.

disipada mediante colisiones con otras moléculas, aumentando de forma momentánea el nivel local de la misma energía cinética, un proceso que es visto como un aumento de la temperatura. Las lesiones térmicas no son producidas por el incremento de energía cinética hasta que la irradiancia de la radiación es suficientemente alta como para aumentar la temperatura en, al menos, 10°C por encima del nivel ambiental de la retina. Consecuentemente, la reacción térmica depende de los umbrales de irradiancia. El daño térmico es mucho mayor en el centro de la lesión, donde el aumento de la temperatura es mucho más elevado.

Por último, es importante reseñar que el riesgo del daño fotoquímico, como una forma diferente de interacción entre la energía radiante y las moléculas biológicas, tiene lugar cuando la radiación incidente tiene una longitud de onda en la porción de alta energía del espectro «visible»: daño fotoquímico. Un electrón en estado excitado puede vol-

ver al estado inhibido disipando la energía extra, rompiendo una unión en otra molécula mediante un intercambio directo de electrones o un intercambio directo de hidrógeno, produciendo especies reactivas de oxígeno. El proceso también puede ocasionar otros radicales libres, importantes en la producción de tejido dañado (Margrain *et al.*, 2004). Ningún daño agudo tiene lugar por debajo de un cierto umbral de nivel de irradiancia.

Por otro lado, y ya adentrándonos en el tema específico de este artículo, pasaremos a hablar de «la soldadura». La American Welding Society (AWS) define la soldadura como una coalescencia localizada de metales (o termoplásticos), producida mediante el calentamiento de los mismos a las temperaturas de sol-

dadura requeridas, con o sin aplicación de presión, o mediante la aplicación de únicamente presión y con o sin el uso de material de aportación. En lenguaje menos técnico, una soldadura se produce cuando las piezas separadas de metal que se van a unir se combinan y forman una sola pieza al ser calentadas a una temperatura lo suficientemente alta como para causar la fusión (Jeffus, 2009). Se pueden distinguir dos tipos básicos de soldadura, la heterogénea y la homogénea, según sea el metal de aportación distinto o igual a los que se pretende unir; siguiendo el criterio del tipo de energía aportado para la unión, se diferencian los soldeos por calor, por presión o por la conjunción de ambos, para lo cual se utilizan distintos dispositivos de soldadura. Este trabajo se centra específicamente en el soplete oxiacetilénico para soldadura a gas. (figura 4)

La soldadura a gas genera calor cuando arde una mezcla de oxígeno con un determinado gas, frecuentemente acetileno (C₂H₂), en la boquilla de la tobera de un mechero de soldar. El calor aportado en este tipo de soldadura se debe a la reacción de combustión, que resulta ser fuertemente exotérmica, pues se alcanzan temperaturas del orden de los 3500° C. (Molera Solá, 1992). Por otro lado, existen otros tipos de dispositivos de soldadura, como el de arco eléctrico o el de arco de plasma; este último genera una gama de alta temperatura de 10.000 a 30.000° C. Esta emisión de energía puede resultar más dañina para el cuerpo humano y causar más complicaciones oculares que las técnicas convencionales de soldadura por arco eléctrico (Choi *et al.*, 2006) (figuras 5a y 5b).

SEGÚN EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA,
EN EL AÑO 2004 TRABAJABAN EN ESPAÑA 1.200.000
PERSONAS EN LOS SECTORES MÁS EXPUESTOS A LOS
SOPLETES DE SOLDADURA



Figura 5a. Llama de luz emitida por un soplete. Puede apreciarse el color azul de la llama, lo que indica la emisión de grandes proporciones de longitudes de onda corta (muy energéticas y dañinas para el tejido).



Figura 5b. Trabajador metalúrgico realizando soldadura.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo descrito en los párrafos anteriores y dentro del marco de los riesgos laborales, debemos destacar que existen profesiones, como los soldadores, que se encuentran especialmente expuestas a sufrir daños fototóxicos por la coincidencia de factores fototérmicos, fotomecánicos y fotoquímicos. En general, las personas expuestas a la fototoxicidad de la luz desarrollarán una incapacidad laboral, en un 90% absoluta, con el grave perjuicio que este hecho conlleva para su persona y para el resto de la sociedad. En concreto, este tipo de patologías son irreversibles, siendo las más frecuentes el desprendimiento de retina, los agujeros maculares y la fotofobia.

Esto ocurre porque la llama de alta temperatura que se irradia durante la soldadura emite una amplia serie de ondas electromagnéticas (ultravioleta, lon-

gitudes de onda corta del espectro visible e infrarrojas) que, por la energía que transmiten, pueden producir daños oculares (Choi *et al.*, 2006). Las radiaciones ultravioleta B (UVB) y ultravioleta C (UVC) pueden producir fotoqueratitis y fotoconjuntivitis, que se caracterizan por un dolor intenso, lagrimeo, sensación de arena en los ojos, fotofobia, etc. Estos efectos son agudos pero reversibles. La luz o radiación visible puede producir lesiones térmicas y/o fotoquímicas en la retina, con pérdida de visión total o parcial (efectos agudos que pueden ser irreversibles). La exposición repetida a radiaciones infrarrojas (IR) puede producir cataratas de origen térmico, por las altas temperaturas (efectos crónicos e irreversibles). El número de personas expuestas, durante muchas horas al día,

a la luz dañina emitida por los sopletes de soldadura es muy elevado, ya que entre las profesiones más afectadas sobresalen, precisamente por el tiempo de exposición, los obreros de la construcción y de las empresas siderometalúrgicas, así como los instaladores de aire acondicionado y calefacción. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), el número de personas que trabajaba en este sector en España en el año 2004 era de 1.200.000 (MCA-UGT).

La normativa vigente obliga a la empresa a proporcionar los elementos protectores frente a la radiación violeta-azul para el trabajo con sopletes. Si bien las gafas y las pantallas de protección se encuentran a disposición de los trabajadores, en su mayoría no son utilizadas. El motivo principal de su falta de uso es el excesivo grado de oscurecimiento de las lentes que incorporan los filtros protectores convencionales, los cuales absorben no solo las bandas nocivas, sino también el 99% de todo el espectro visible. Es importante destacar este hecho porque ayuda a entender las manifestaciones de los trabajadores que se quejan de que con las gafas protectoras convencionales su visión es casi

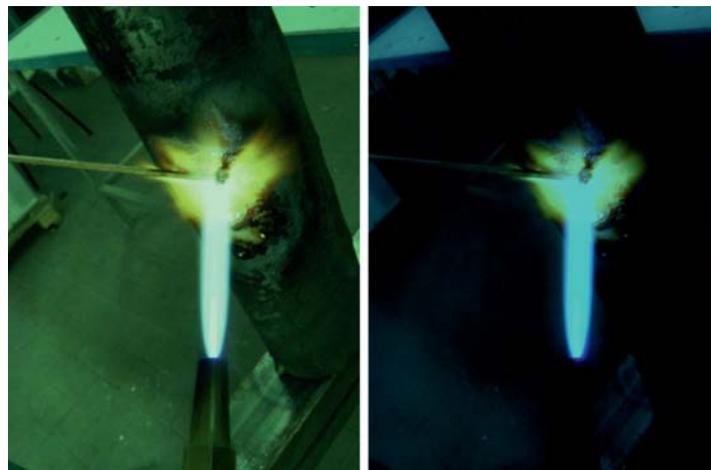


Figura 6. Diferencia de imagen al observar la escena con el filtro para soldadores propuesto en este trabajo (imagen izquierda) y con el filtro para soldadores tradicional (imagen derecha).

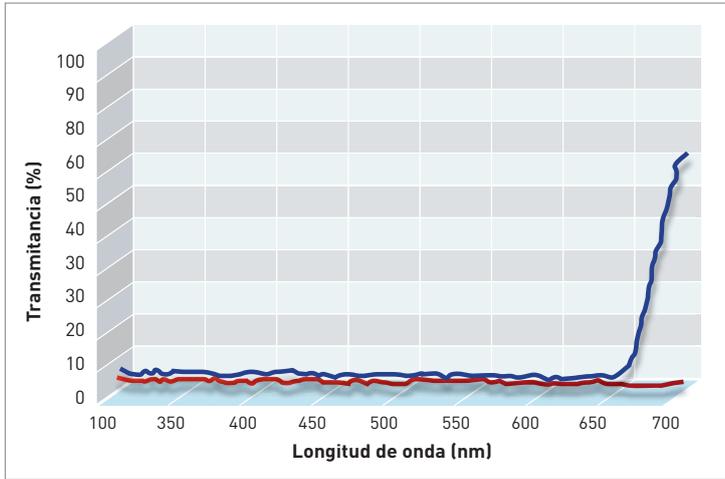


Figura 7. Curvas de absorción de filtros convencionales para soldadura. Se exponen en este gráfico el de mayor absorbancia (línea roja) y el de menor absorbancia (línea negra).

nula, lo cual aumenta exponencialmente el riesgo de quemaduras (Kim, 2007). (figura 6). En la gráfica correspondiente se observan las curvas de absorción de dos filtros de soldadura convencionales, de los cuales el de menor absorbancia transmite el 1% del espectro visible (figura 7).

Por tanto, en este trabajo se planteó como objetivo diseñar un nuevo filtro para soldadores que proporcione el mismo nivel de protección que un filtro convencional para soldadores pero que permita, a su vez, una buena percepción visual del área de trabajo.

MATERIAL Y MÉTODO

Para este trabajo se evaluó a 36 personas de ambos sexos, 22 hombres y 14 mujeres, en edad laboral. La media de edad de la muestra fue de 44 ± 14 años. Las medidas de absorbancia se realizaron con dos espectrómetros distintos: el Spectra-pro-750 (SOPRA), para medir el espectro de emisión de la llama del soplete oxiacetilénico, y el Humphrey Lens Analyzer 350 (Zeiss Humphrey Systems), para la caracterización de los filtros. Además se

utilizaron distintos tipos de filtros ópticos: en primer lugar, para el diseño del nuevo filtro protector UCM, se usaron filtros de absorbancia selectiva para longitudes de onda comprendidas entre 380 y 500nm con el fin de determinar la absorbancia requerida por el nuevo dispositivo protector frente a la emisión del soplete oxiacetilénico. Posteriormente, para la valoración de los diferentes aspectos de la función visual, se usaron el filtro de nue-

vo diseño y un filtro protector convencional, homologado, que se encuentra a disposición de los soldadores. (figura 8)

Se consideró conveniente evaluar la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, la discriminación del color y la estereoaquidez. Para la valoración de estos aspectos de la función visual se utilizaron tests habitualmente empleados para realizar estas evaluaciones según las indicaciones del fabricante y en visión próxima y en condiciones de iluminación fotópica. Concretamente, para valorar la agudeza visual se empleó el test *Traditional Runge Pocket Near Vision Card* (Precision Vision, USA) (figura 9); para evaluar la sensibilidad al contraste se utilizó el test VCTS (Vistech Consul-

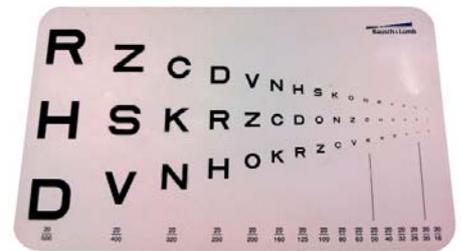


Figura 9. Test de agudeza visual próxima.

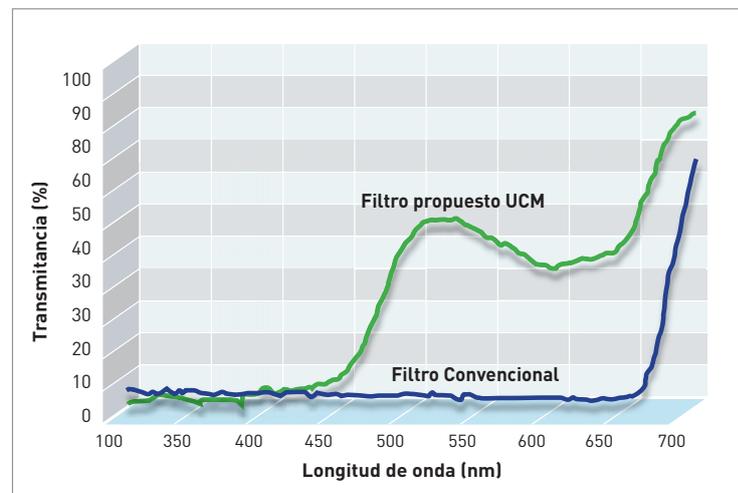


Figura 8. Curvas de absorción espectral de los filtros utilizados en el trabajo. Línea negra: filtro convencional. Línea verde: filtro propuesto UCM.



Figura 10. Test VCTS, para sensibilidad al contraste de cerca.

tans, INC, 1988, Stereo Optical Company) (figura 10); la discriminación del color fue evaluada mediante el test Farnsworth-Munsell D-28 HUE (figura 11), y, finalmente, para valorar la estereoagudeza se utilizó el test de Titmus (figura 12).

Todas las valoraciones fueron realizadas de forma binocular. Los sujetos fueron examinados en las condiciones habituales de trabajo, es decir, con la graduación óptica que utilizaran para realizar trabajos en visión próxima, con independencia de que dicha graduación fuera o no la óptima. Cada uno de los parámetros de función visual se evaluó bajo tres condiciones: 1) sin la interposición de filtros de protección, 2) con la interposición de un filtro protector convencional para soldadores, y 3) con la interposición del filtro de protección propuesto por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El orden de las pruebas y la interposición o no de los filtros se realizó de forma aleatoria.

Se utilizó el programa Statgraphics



Figura 11. Test Farnsworth-Munsell D-28, para evaluar la percepción del color.



Figura 12. Test de Titmus

Plus 5.0 Professional Edition para realizar una estadística comparativa destinada a evaluar los efectos de los filtros interpuestos en las diferentes medidas de función visual. Todas las comparaciones fueron realizadas asumiendo un error de alfa de 0.05.

RESULTADOS

Medidas del espectro de emisión de soplete, sin y con interposición de filtro X-450

Realizadas las medidas del soplete oxiacetilénico, se exponen a continuación 3 registros de la emisión de dicho soplete, en el rango de longitudes de onda de 380nm a 750nm. Como puede observarse en la figura 13a, la emisión del soplete es relativamente estable aunque existen diferencias entre las tres curvas presentadas (figura 13a).

En la gráfica 13b puede observarse el espectro de emisión de la llama oxiacetilénica, sin interposición de filtro (línea roja), y la emisión del mismo soplete, pero con la interposición del filtro X-450 (línea verde). En la medida realizada con filtro X-450 se puede observar que, para las longitudes de onda corta comprendidas entre 400 y 450 nm, se obtiene transmitancia 0 (en unidades relativas), pero permite el paso de las demás longitudes de onda (del espectro visible), por lo que posibilita la visión del campo de trabajo (figura 13b).

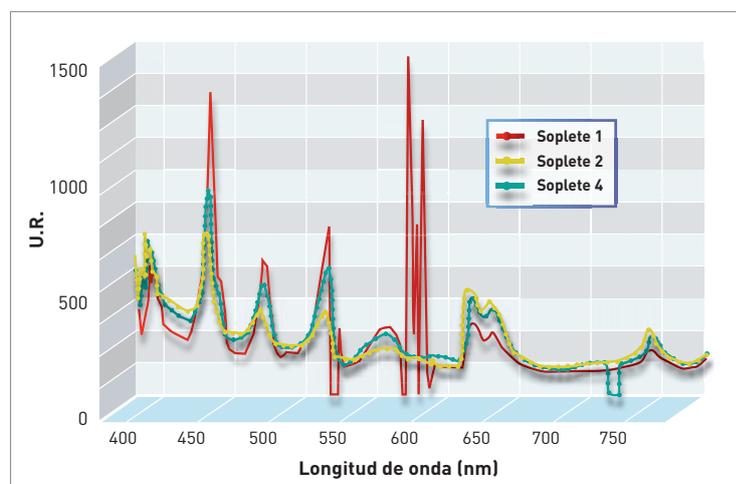


Figura 13a. Curvas de emisión del soplete oxiacetilénico en el rango de longitudes de onda de 380nm a 750nm, sin filtros, medido tres veces (después de apagarlo y volver a encenderlo).

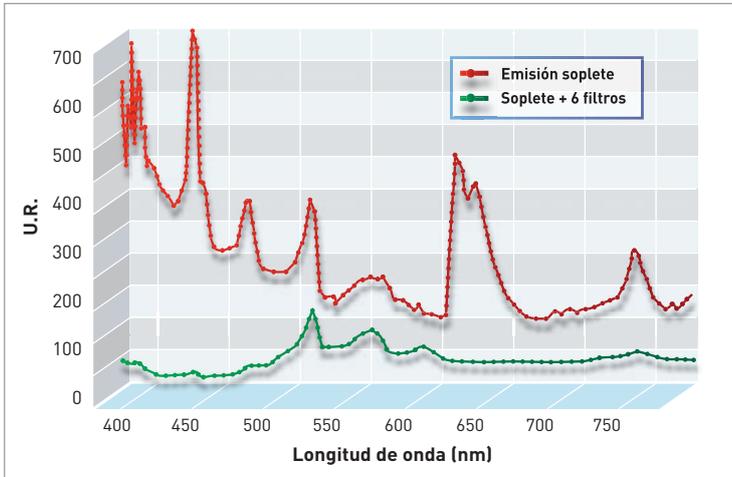


Figura 13b. Curvas de emisión del soplete autógeno (línea roja) y del mismo soplete oxiacetilénico pero con la interposición del filtro óptico de absorción de longitudes de onda fototóxicas (línea verde). Para esta gráfica comparativa se ha utilizado el registro denominado «soplete 2», de la figura 14 a.

puesto UCM al comparar con los valores obtenidos de estereoagudeza sin filtro. Sin embargo, al comparar la capacidad de percibir la profundidad sin filtro y con el filtro convencional, los resultados mostraron baja capacidad de discriminación de profundidad, con diferencias estadísticamente significativas (tabla 3 y figura 15).

Resultados descriptivos y comparativos de la discriminación del color

Para la determinación de este aspecto de la función visual se ha utilizado el número de errores de orden en la disposi-

EL DAÑO RETINIANO POR EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN EMITIDA POR UN SOPLETE DE SOLDADURA ES, A LA VEZ, AGUDO Y CRÓNICO, YA QUE LA EXPOSICIÓN A «LUZ INTENSA DE FORMA AGUDA» SE REALIZA A LO LARGO DE TODA LA VIDA LABORAL DEL TRABAJADOR

Tabla 1. Valores de agudeza visual próxima, con/sin la interposición del filtro protector propuesto UCM, expresada en escala decimal.

AV	Sin filtro	Filtro UCM	Diferencias	p-valor
Escala decimal	0,88 ± 0,35	0,82 ± 0,34	0,06 ± 0,13	0,999

Tabla 2. Valores de agudeza visual próxima con/sin la interposición del filtro protector convencional, expresada en escala decimal.

AV	Sin filtro	Filtro convencional	Diferencias	p-valor
Escala decimal	0,88 ± 0,35	0,37 ± 0,22	0,5 ± 0,3	0,000

Resultados descriptivos y comparativos de la agudeza visual

Tras interponer los diferentes filtros de protección, observamos que el filtro propuesto UCM no inducía cambios significativos en los valores de agudeza visual próxima (tabla 1 y figura 14). Sin embargo, con el filtro protector convencional sí se observó una importante disminución en los valores de agudeza visual próxima (tabla 2 y figura 14).

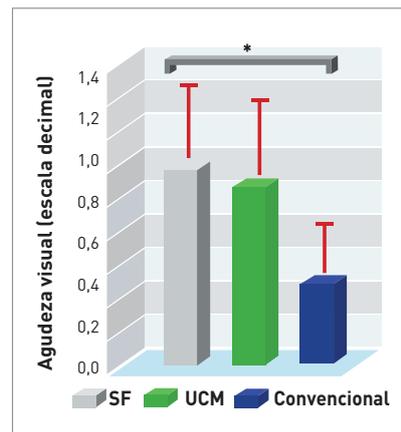


Figura 14. Valores de agudeza visual próxima con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: Sin filtro (SF) vs Filtro convencional vs filtro propuesto UCM, en escala decimal.

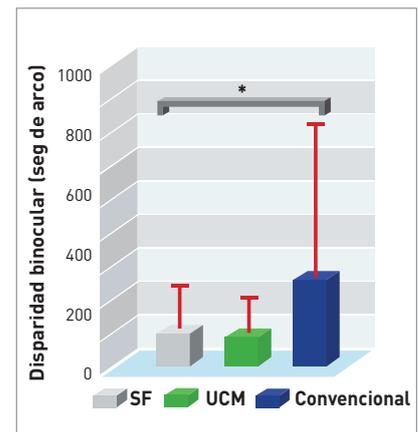


Figura 15. Valores de estereoagudeza sin filtro (SF), con filtro UCM y con filtro convencional. Los valores obtenidos con el filtro UCM son muy similares a los obtenidos sin interposición de filtro. En cambio, con el filtro convencional aumenta la disparidad binocular lo que se traduce en una disminución de la estereoagudeza.

Resultados descriptivos y comparativos de la estereoagudeza

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de estereopsis tras interponer el filtro pro-

Tabla 3. Valores de disparidad binocular con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: filtro convencional vs filtro propuesto UCM.

	Sin filtro (" de arco)	Filtro (" de arco)	Diferencias (" de arco)	p-valor
Filtro UCM	97 ± 95	89 ± 78	8,5 ± 40	0.999
Filtro Convencional	97 ± 95	279 ± 531	-184 ± 470	0.000

Tabla 4. Número de errores obtenidos con el test Farnsworth-Munsell, con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: filtro convencional vs filtro propuesto UCM.

Nº Errores	Sin filtro	Filtro	Diferencias	p-valor
Filtro UCM	5 ± 4	6 ± 4	1 ± 3	0,006 *
Filtro Convencional	5 ± 4	17 ± 3	12 ± 5	0 *

Tabla 5. Porcentaje de errores obtenidos con el test Farnsworth-Munsell, con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: filtro convencional vs filtro propuesto UCM.

% Errores	Sin filtro	Filtro	Diferencias
Filtro UCM	18	24	5
Filtro Convencional	18	61	43

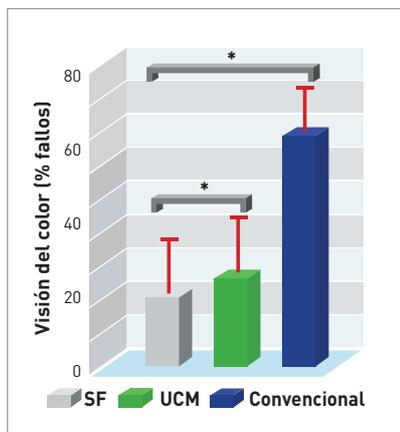


Figura 16. Porcentaje de fallos en el test de visión de color con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: sin filtro (SF) vs filtro convencional vs filtro propuesto UCM.

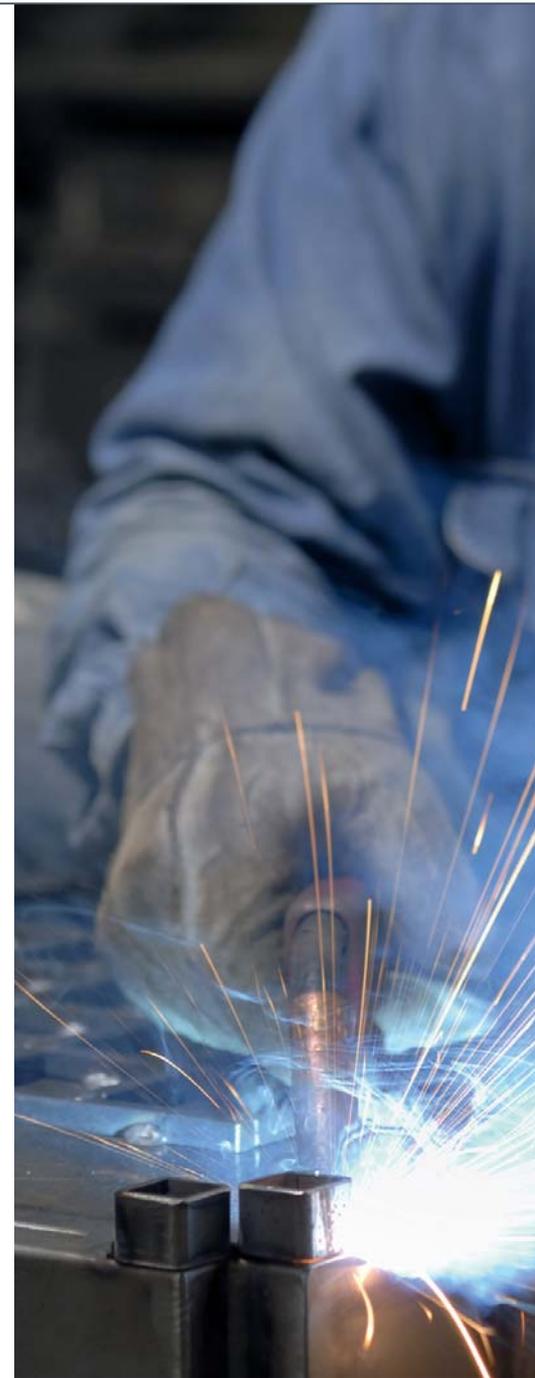
ción del test FM. Como puede comprobarse en la tabla 4, la interposición de los dos filtros reduce la discriminación del color. Al compararse estos valores con los obtenidos en la valoración sin filtro las diferencias son estadísticamente sig-

nificativas. Para una mejor visualización de los resultados se han transformado los datos en porcentaje de errores, que se expresa en la figura 16 y en la tabla 5.

Como se puede comprobar en la columna relativa a las diferencias, el porcentaje de errores con la interposición del filtro tradicional es muy elevado, en torno al 43%. Sin embargo, con el filtro propuesto UCM, la pérdida de discriminación del color es solo del 5%. Una de las características a reseñar en este apartado es la necesidad de una explicación exhaustiva de la metodología para la realización correcta de la prueba. Se quiere aclarar que siempre se realizó en primer lugar la valoración sin filtro, como fase de aprendizaje; en cambio, las dos pruebas posteriores con la interposición del filtro fueron realizadas en orden aleatorio.

Resultados descriptivos y comparativos de la sensibilidad al contraste

Tras interponer el filtro propuesto UCM se observó una disminución esta-



dísticamente significativa de los valores de sensibilidad al contraste en visión próxima para las frecuencias espaciales 6cpg y 18cpg. Por otro lado, al interponer el filtro protector convencional, se observó una mayor pérdida de los valores de sensibilidad al contraste en visión próxima para todas las frecuencias espaciales. Las diferencias entre el filtro UCM y el filtro convencional fueron sig-

Tabla 6. Significancia estadística de la comparativa de los valores de sensibilidad al contraste en visión próxima con/sin la interposición del filtro protector propuesto UCM y convencional.

Frecuencia espacial	p-valor Sin filtro vs filtro UCM	p-valor Sin filtro vs filtro convencional	p-valor Filtro UCM vs filtro convencional
1,5cpg	0,999	0,000 *	0,000 *
3cpg	0,417	0,000 *	0,000 *
6cpg	0,028 *	0,000 *	0,000 *
12cpg	0,316	0,000 *	0,000 *
18cpg	0,022 *	0,000 *	0,000 *

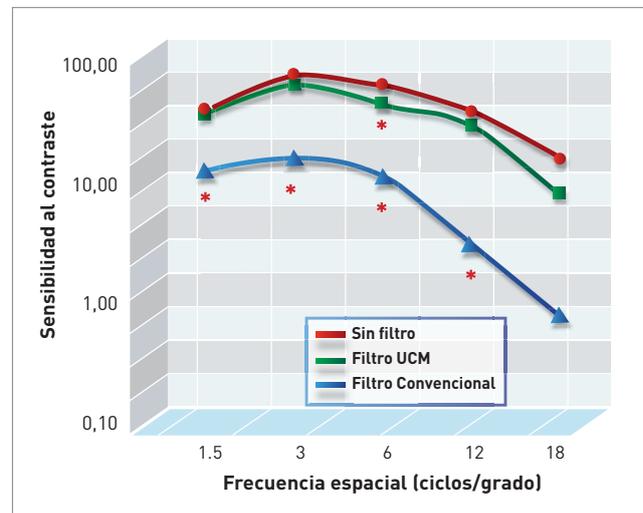


Figura 17. Valores de sensibilidad al contraste en visión próxima con/sin la interposición de filtros protectores para soldadura: sin filtro vs filtro convencional vs filtro propuesto UCM. *Significancia $p < 0,05$ entre los valores de SC sin filtro vs filtro analizado.

nificativas para las frecuencias espaciales (tabla 6).

Al comparar los valores obtenidos por el filtro UCM y el filtro protector convencional se observan diferencias significativas en todas las frecuencias espaciales. Los valores del filtro UCM son sensiblemente más próximos a los obtenidos sin filtro que los obtenidos con el filtro convencional (figura 17).

DISCUSIÓN

El daño fotoquímico retinal fue descubierto en 1965 por Noell, quien evidenció accidentalmente que las retinas de las ratas albinas podían ser dañadas, de forma irreversible, mediante exposiciones de varias horas o días a luz ambiental, dentro del rango de intensidad de la luz natural. Este mismo daño también se produce en ratas pigmentadas cuando las pupilas son dilatadas. Otros trabajos, como el de Wu *et al.*, de 2006, demuestran que el daño fotoquímico re-

tiniano ocurre con diferentes tipos de morfología en diferentes animales.

Con el fin de analizar los efectos foto-tóxicos de la luz en la retina se han utilizado a menudo animales a los que se expone a luz intensa de forma aguda. Estos estudios han documentado que la luz es capaz, en determinadas circunstancias, de producir la muerte de los fotorreceptores y de las células del epitelio pigmentario por apoptosis y por un mecanismo en el que está implicada la rodopsina (Reme *et al.*, 2005; Wenzel *et al.*, 2005). Por otro lado, la exposición a luz permanente (Noell *et al.*, 1966; Law-

will, 1973; Tso, 1973; Tso y Woodford, 1983; Dureau *et al.*, 1999) produce un adelgazamiento de la capa nuclear externa, indicativo de la disminución de los receptores. El mecanismo exacto por el que se producen estos cambios no se conoce, aunque es probable que la lesión inicial se localice en los segmentos externos de los fotorreceptores (Organisciak *et al.*, 1994).

En resumen, según la revisión bibliográfica de Wu, los factores que refuerzan la susceptibilidad del daño por luz identificados hasta ahora en estudios animales son: la longitud de onda (Grimm *et al.*, 2000); la intensidad de luz y duración de la exposición (O'Steen *et al.*, 1979); los efectos acumulativos de la luz (Noell, 1966; Organisciak *et al.*, 2010); el ritmo circadiano (Duncan, 2002; Organisciak *et al.*, 2010); el estado adaptativo: (Noell *et al.*, 1966); la edad (O'Steen *et al.*, 1982) y la genética (Noell *et al.*, 1971).

Respecto al análisis de las longitudes de onda que producen el mayor nivel de daño retiniano, se han realizado diversos estudios. Noell *et al.*, en 1966, demostraron que el tejido retiniano se deterioraba cuando era expuesto a longitudes de onda corta. Otros trabajos como el de Okuno *et al.*, en 2002, repiten este mismo planteamiento y concluyen que el sol, la soldadura por arco, el corte por plasma y las lámparas de descarga presentan radiancias efectivas muy altas, con tiempos de exposición permisibles de solo 0,6 a 40 s, lo que sugiere que la visualización de estas fuentes de luz es muy peligrosa para la retina.

Se debe reseñar, para la mejor comprensión de esta discusión, que se considera que la exposición a luz intensa de

forma aguda causa un daño térmico, mientras que la exposición a luz no tan intensa pero de forma crónica produce daño fotoquímico (Margrain *et al.*, 2004). El daño retiniano por exposición a la radiación emitida por un soplete de soldadura es, a la vez, agudo y crónico, ya que la exposición a «luz intensa de forma aguda» se realiza a lo largo de toda la vida laboral del trabajador. Por este motivo, se ha iniciado esta discusión con la exposición de los trabajos más relevantes en el estudio de los procesos neurodegenerativos producidos por la luz. En la segunda parte de esta discusión se comentan algunas características del daño retiniano por la radiación emitida por los dispositivos para soldar.

Así pues, las primeras referencias relativas a la lesión retiniana inducida por soldadura figuran en trabajos realizados por Terrien en 1902 (Choi *et al.*, 2006). En la bibliografía encontrada se expresa que «(...) todos los procesos de soldadura implican los riesgos potenciales que puede conducir a diversos daños y patologías oculares» (Arend, 1996; Tenkate *et al.*, 1997; Okuno, 2001; Kim *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2007; Okuno, 2010). Se ha indicado que el 38,3% de los accidentes laborales en la construcción corresponden a soldadura, demolición con martillos y pulverizaciones (Woo, 2006). El elevado porcentaje de soldadores afectados se debe a que esta actividad causa daños y quemaduras en la piel y a que los humos producidos al soldar causan el deterioro de la función pulmonar, como, por ejemplo, disnea, rinitis, asma, neumonía, cáncer de los pulmones, entre otros (Meo *et al.*, 2003). Pero los daños producidos por la soldadura inclu-



yen, además, irritaciones oculares, fotoqueratitis, cataratas, pterigion, entre otros (Okuno *et al.*, 2001; Meo *et al.*, 2003). Por este motivo es importante conocer el nivel de radiación emitida por los dispositivos de soldadura para evaluar los riesgos potenciales y tomar medidas de protección en contra de ella (Okuno *et al.*, 2001). Además, los soldadores deben ser instruidos acerca de la posibilidad de sufrir daños en el segmento anterior y posterior y de la necesidad de usar gafas de protección adecuadas para evitar estos daños (Arend *et al.*, 1996).

Numerosos estudios coinciden en la necesidad de utilizar las gafas o panta-

EL ESTUDIO PROPONE UN FILTRO QUE PROTEGE AL TRABAJADOR DE LAS RADIACIONES NOCIVAS PERO QUE DEJA PASAR LAS LONGITUDES DE ONDA MENOS ENERGÉTICAS PARA PERMITIR LA VISIÓN DEL CAMPO DE TRABAJO



llas protectoras para el proceso de soldadura, puesto que los altos niveles de radiación UV provocan grandes complicaciones oculares (Arend, 1996; Tenkate *et al.*, 1997; Okuno, 2001; Kim *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2007; Okuno, 2010). Para ello los sistemas protectores deben proveer al trabajador de la protección suficiente para realizar su trabajo diario sin superar la máxima exposición admisible (MPE). Para corroborar que los equipos de protección ocular cumplieran con este requisito, Tenkate, en 1997, midió, con una película de polímero fotosensible, los niveles de exposición a la radiación ultravioleta de un grupo de

soldadores. El polímero se adjuntó a la superficie interna de la pantalla de protección ocular y reveló que la exposición media estimada ocular (en el interior del casco) fue de entre cuatro y cinco veces la MPE. Estos resultados sugerían que era necesaria una protección ocular adicional para complementar los cascos convencionales de soldadura.

En concordancia con el trabajo de Tenkate, se publicaron estudios donde se reportaron casos de daños retinianos en soldadores que utilizaban correctamente sus gafas de protección. El examen posterior de los filtros protectores reveló que solo absorbían las longitudes de onda

inferiores a 380 nm, y solo podrían ofrecer protección contra fotoqueratitis. (Arend *et al.*, 1996; Choi *et al.*, 2006). Esto demuestra la necesidad de un estudio pormenorizado de los requerimientos del sistema de protección según el tipo de radiación emitida.

Con posterioridad a estos trabajos, Maier *et al.*, en 2005, y Peng *et al.*, en 2007, analizaron diferentes filtros de protección y demostraron que éstos protegen a los trabajadores de la exposición de las radiaciones nocivas emitidas por los dispositivos para soldadura. Más aún, al finalizar el trabajo, Maier concluye que la maculopatía de soldadura parece ser más bien una consecuencia de la negligencia frente a las normas de seguridad. En el presente trabajo se ha medido la absorbancia de diversos equipos de protección ocular para soldadores y, en concordancia con los trabajos de Maier y Peng, se ha encontrado que la transmitancia del UV es nula. Pero, después del análisis de los resultados obtenidos en la valoración de la percepción visual, se puede comprobar que el hecho de que los trabajadores no utilicen sus equipos de protección no debería ser considerado como «negligencia», sino como mecanismo de autodefensa para evitar quemaduras en las manos y brazos, ya que nuestros resultados indican que, con los sistemas de protección convencionales, la agudeza visual disminuye hasta el 58% respecto a la no utilización de filtros. Teniendo en cuenta que el soplete emite llamas a más 3500° C, la exigencia de una visión óptima del campo de trabajo es indispensable para evitar quemaduras en las manos y errores en las soldaduras que se están realizando.

Otro trabajo destacado, presentado por Chou *et al.* en 1996, expone los resultados de un estudio realizado en una planta de ensamblaje de vehículos donde se presenta como uno de los principales

EL PRESENTE ESTUDIO DEMUESTRA QUE LOS ELEMENTOS PROTECTORES CONVENCIONALES QUE ACTUALMENTE SE ENCUENTRAN A DISPOSICIÓN DE LOS TRABAJADORES DISMINUYEN CONSIDERABLEMENTE LA PERCEPCIÓN VISUAL

riesgos del trabajo con soldaduras, además de las radiaciones emitidas por el soplete, los desprendimientos de partículas de metal fundido que son despedido en todas direcciones. Este hecho obliga al trabajador a protegerse de los residuos metálicos mediante la pantalla protectora, que, como es obvio, también incorpora el filtro ocular. Pero frecuentemente los soldadores deben trabajar en sitios oscuros y en espacios pequeños, lo cual reduce su percepción visual; en tales situaciones, algunos soldadores se quitan las gafas protectoras para realizar su trabajo (Kim *et al.*, 2007). En concordancia con los resultados de Kim, el presente estudio demuestra que los elementos protectores convencionales que actualmente se encuentran a disposición de los trabajadores disminuyen considerablemente la percepción visual.

Para evitar la falta de visión sin necesidad de retirar la pantalla protectora, en este trabajo se propuso un filtro óptico de banda selectiva que absorbe solo las longitudes de onda corta en una alta proporción y que es atenuador para el resto de las longitudes de onda del espectro visible; al tiempo, los elementos protectores bloquean la radiación UV. Finalmente, se propone un filtro que protege al trabajador de las radiaciones nocivas pero que permite el paso de las longitudes de onda menos energéticas para propiciar la visión del campo de trabajo.

Así pues, en este estudio se han valorado distintos aspectos de la percepción visual y se ha observado que tanto la agudeza visual como la sensibilidad al contraste se ven apenas afectadas al interponer el filtro propuesto UCM, mientras que con el filtro convencional las pérdidas son elevadas. La estereoagudeza no

disminuye significativamente cuando se interpone el filtro propuesto por la UCM, pero sí cuando se utiliza el filtro convencional, produciéndose pérdidas muy importantes. Respecto a la percepción del color, ambos filtros producen, de forma estadísticamente significativa, una disminución en la capacidad de discriminación, siendo más acentuada para el filtro convencional (43%) que para el filtro propuesto (5%).

CONCLUSIONES

- El soplete oxiacetilénico presenta una emisión dos veces superior para las longitudes de onda corta que para las demás longitudes de onda. El filtro X-450 es suficiente para absorber las longitudes de onda corta emitidas por el soplete, llegando a transmitancia 0 en el rango de 400-450 nm. Esto permite diseñar un filtro óptico protector de absorbancia selectiva que elimina al máximo las longitudes de onda corta y solo atenúa, en un porcentaje mínimo, el resto de las bandas del espectro visible.
- Para favorecer la utilización de los equipos de protección para soldadura se requiere de un elemento protector que no disminuya la agudeza visual de los trabajadores. El filtro UCM mantiene sin cambios estos valores, mientras que el filtro convencional disminuye en más de la mitad la capacidad de resolución de los trabajadores.
- Para evitar accidentes laborales por quemaduras en la piel, producidos por una pobre percepción del entorno, se

sugiere el uso del filtro para soldadura propuesto por la UCM, ya que permite una mejor percepción del contraste en comparación con el filtro convencional.

- Para realizar trabajos con mayor exactitud y precisión en profundidad y relieve se sugiere el uso del filtro óptico propuesto por la UCM, dado que no afecta a la percepción de profundidad, mientras que el filtro convencional disminuye la estereoagudeza de forma significativa.
- La interposición de ambos filtros protectores produce una disminución en la capacidad de discriminación del color, siendo más acentuada para el filtro convencional que para el filtro propuesto. No obstante, para los trabajos de soldadura, la discriminación del color no es un parámetro especialmente relevante en comparación con otros aspectos de la función visual, por lo que no se considera este factor como determinante en la comparación entre ambos filtros protectores.
- Los distintos aspectos de la percepción visual se ven drásticamente disminuidos cuando se utiliza el filtro protector convencional evaluado. Por el contrario, la interposición del nuevo filtro protector propuesto por la Universidad Complutense de Madrid mantiene estables o disminuye levemente las capacidades perceptivas evaluadas, resultando ser un sistema protector óptimo para trabajos de soldadura, por lo que ha sido propuesto como filtro de referencia a los organismos competentes para su homologación. ♦

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por FUNDACIÓN MAPFRE (Ayudas a la investigación 2010).

PARA SABER MÁS

- [1] Arend O., Aral H., Reim M., Wenzel M. Welders maculopathy despite using protective lenses. *Retina*. 1996;16(3):257-9.
- [2] Boissin J.P., Peyresblanques J., Rollin J.P., Marini F., Beauflis D. The vision of welders in France. *J Fr Ophtalmol*. 2002 Oct;25(8):807-12.
- [3] Brittain G. Retinal burns caused by exposure to MIG-welding arcs: report of two cases. *Br J Ophthalmol*. 1988;72(8):570-5.
- [4] Choi S.W., Chun K.I., Lee S.J. A case of photic retinal injury associated with exposure to plasma arc welding. *Korean J Ophthalmol*. 2006;20(4):250-3.
- [5] Chou B.R. CA. Ocular hazards of industrial spot welding. *Optom Vis Sci* 1996;73(6):424-7.
- [6] Duncan J., Aleman T., Gardner L., De Castro E., Marks D., Emmons J., et al. Macular pigment and lutein supplementation in choroideremia. *Exp Eye Res*. 2002 Mar;74(3):371-81.
- [7] García-Guinea J. CV, Lombardero M., González-Martin R. Study of the ultraviolet emission of the electrode coatings of arc welding. *Int J Environ Health Res*. 2004;14(4):285-94.
- [8] Grimm C., Remé C., Rol P., Williams T. Blue light's effects on rhodopsin: photoreversal of bleaching in living rat eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000 Nov;41(12):3984-90.
- [9] Grimm C. et al. Gene expression in the mouse retina: the effect of damaging light. *Mol Vis*. 2000 Dec;6:252-60.
- [10] Grimm C., Wenzel A., Williams T., Rol P., Hafezi F., Remé C. Rhodopsin-mediated blue-light damage to the rat retina: effect of photoreversal of bleaching. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001 Feb;42(2):497-505.
- [11] Hiesch A., Berrot A. Unilateral photic maculopathy caused by welder's flash. *J Fr Ophtalmol*. 2011;34(1):37.e1-3.
- [12] Imberger A., Altmann A. Unintentional adult eye injuries in Victoria Monash University. *Hazard*. 1999;41:4-5.
- [13] Isah E.C., Oh O. Occupational health problems of welders in Benin City, Nigeria. *Journal of Medicine and Biomedical Research*. 2006;5:64-9.
- [14] Jeffus L. Soldadura. Principios y Aplicaciones: Paraninfo; 2009.
- [15] Kim E.A., Kim B.G., Yi C.H. et al. Macular degeneration in arc welder. *Ind Health*. 2007;45(2):371-3.
- [16] Lawwill T. Effects of prolonged exposure of rabbit retina to low-intensity light. *Invest Ophthalmol*. 1973 Jan;12(1):45-51.
- [17] Lyon T. Knowing the dangers of actinic ultraviolet emissions. *Welding*. 2002;81:28-30.
- [18] Maier R., Heilig P., Winker R., Neudorfer B., Hoeranter R., H. R. Welder's maculopathy? *Int Arch Occup Environ Health*. 2005;78(8):681-5.
- [19] Margrain T., Boulton M., Marshall J., Sliney D. Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? *Prog Retin Eye Res*. 2004 Sep;23(5):523-31.
- [20] Marshall J. Radiation and the ageing eye. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1985;5(3):241-63.
- [21] Meo S.A., Al-Khlaifi T. Health hazards of welding fumes. *Saudi Med J*. 2003 Nov;24(11):1176-82.
- [22] Noell W., Albrecht R. Irreversible effects on visible light on the retina: role of vitamin A. *Science*. 1971 Apr;172(978):76-9.
- [23] Noell W., Walker V., Retinal damage by light in rats. *Invest Ophthalmol*. 1966 Oct;5(5):450-73.
- [24] Norn M., C. F. Long-term changes in the outer part of the eye in welders. Prevalence of spheroid degeneration, pinguecula, pterygium, and corneal cicatrices. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1991;69(3):382-6.
- [25] Okuno T. Evaluation of blue-light hazards from various light sources. *Dev Ophthalmol*. 2002;35:104-12.
- [26] Okuno T., Ojima J., Saito H. Ultraviolet radiation emitted by CO₂ arc welding. *Ann Occup Hyg*. 2001 Oct;45(7):597-601.
- [27] Okuno T., Blue-light hazard from CO₂ arc welding of mild steel. *Ann Occup Hyg*. 2010 Apr;54(3):293-8.
- [28] Organisciak D., Darrow R., Barsalou L., Kutty R., Wiggert B. Susceptibility to retinal light damage in transgenic rats with rhodopsin mutations. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2003 Feb;44(2):486-92.
- [29] Organisciak D., Vaughan D. Retinal light damage: mechanisms and protection. *Prog Retin Eye Res*. 2010 Mar;29(2):113-34.
- [30] O'Steen W. Hormonal and light effects in retinal photodamage. *Photochem Photobiol*. 1979 Apr;29(4):745-53.
- [31] O'Steen W., Bare D., Tytell M., Morris M., Gower D. Water deprivation protects photoreceptors against light damage. *Brain Res*. 1990 Nov;534(1-2):99-105.
- [32] O'Steen W., Donnelly J. Antagonistic effects of adrenalectomy and ether/surgical stress on light-induced photoreceptor damage. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1982 Jan;22(1):1-7.
- [33] O'Steen W., Donnelly J. Chronologic analysis of variations in retinal damage in two strains of rats after short-term illumination. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1982 Feb;22(2):252-5.
- [34] O'Steen W., Spencer R., Bare D., McEwen B. Analysis of severe photoreceptor loss and Morris water-maze performance in aged rats. *Behav Brain Res*. 1995 Jun;68(2):151-8.
- [35] O'Steen W., Sweatt A., Eldridge J., Brodish A. Gender and chronic stress effects on the neural retina of young and mid-aged Fischer-344 rats. *Neurobiol Aging*. 1987 Sep-Oct;8(5):449-55.
- [36] Owsley C., Sloane M.E. Contrast sensitivity, acuity, and the perception of 'real-world' targets. *Br J Ophthalmol*. 1987 Oct;71(10):791-6.
- [37] Peng C.Y., Liu H.H., Chang C.P., Shieh J.Y., Lan C.H. Evaluation and monitoring of UVR in Shield Metal ARC Welding processing. *Health Phys*. 2007 Aug;93(2):101-8.
- [38] Power W.J., Travers S.P., Mooney D.J. Welding arc maculopathy and fluphenazine. *Br J Ophthalmol*. 1991 Jul;75(7):433-5.
- [39] Remé C. The dark side of light: rhodopsin and the silent death of vision the proctor lecture. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005 Aug;46(8):2671-82.
- [40] Roehlecke C., Schumann U., Ader M., Knels L., Funk R.H. Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system. *Mol Vis*. 2011;17:876-84.
- [41] Shaikh T.Q., FA. B. Occupational injuries and perception of hazards among road-side welding workers. *J Pak Med Assoc*. 1991;41(8):187-8.
- [42] Solà P.M. Soldadura industrial: clases y aplicaciones: Marcombo; 1992.
- [43] Tenkate T.D., Collins M.J. Personal ultraviolet radiation exposure of workers in a welding environment. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1997 Jan;58(1):33-8.
- [44] Tso M., Woodford B. Effect of photic injury on the retinal tissues. *Ophthalmology*. 1983 Aug;90(8):952-63.
- [45] Tso M.O., Wallow I.H., Powell J.O. Differential susceptibility of rod and cone cells to argon laser. *Arch Ophthalmol*. 1973 Mar;91(3):228-34.
- [46] Wang H.M., Hull B.E., Organisciak D.T. Long term effects of diamminophenoxypentane in the rat retina: protection against light damage. *Curr Eye Res*. 1994 Sep;13(9):655-60.
- [47] Wenzel A., Grimm C., Samardzija M., Remé C. Molecular mechanisms of light-induced photoreceptor apoptosis and neuroprotection for retinal degeneration. *Prog Retin Eye Res*. 2005 Mar;24(2):275-306.
- [48] Wenzel A., Oberhauser V., Pugh E.J., Lamb T., Grimm C., Samardzija M., et al. The retinal G protein-coupled receptor (RGR) enhances isomerohydrolase activity independent of light. *J Biol Chem*. 2005 Aug;280(33):29874-84.
- [49] Woo J.H., G. S. Eye injuries in Singapore—don't risk it. Do more. A prospective study. *Ann Acad Med Singapore* 2006;35(10):706-18.
- [50] Wu J., Seregard S., Algvere P. Photochemical damage of the retina. *Surv Ophthalmol*. 2006 2006 Sep-Oct;51(5):461-81.
- [51] Yamaguchi-Sekino S., Ojima J., Sekino M., Hojo M., Saito H., Okuno T. Measuring exposed magnetic fields of welders in working time. *Ind Health*. 2011;49(3):274-9.