

## Protección ocular frente a la radiación LED

**Silvia Torres Ruiz**

Centro Nacional de Medios de Protección (CNMP). INSST

*Este artículo está dirigido a los profesionales y técnicos en prevención de riesgos laborales con amplios conocimientos en la evaluación del riesgo por exposición a radiaciones ópticas artificiales, tal y como se recoge en la Guía Técnica del INSST para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales y en la NTP 1089 Radiaciones ópticas artificiales: aplicación de los VLE para la determinación del factor de protección de un filtro (FPF) de protección ocular.*

### INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas de iluminación LED cada vez se está imponiendo más, debido a su bajo coste y alto rendimiento. En la actualidad los LED que más se utilizan son de luz blanca y emiten principalmente en el rango de la radiación visible del espectro electromagnético con una componente alta de luz azul (rango del espectro electromagnético comprendido entre los 400-500 nm). Un exceso de exposición a la luz azul puede suponer un riesgo para la retina. Habitualmente, los LED utilizados como sistema de iluminación general no presentan riesgo para la retina, no obstante se deben diseñar los puestos de trabajo de forma adecuada teniendo en cuenta todos los factores ergonómicos. Sin embargo, su uso en determinados sectores como la acuicultura o la ganadería para acelerar el crecimiento de microalgas o plantas, o la exposición a la radiación LED en puestos de trabajo específicos, como son el de mantenimiento de luminarias o el de control de calidad de la intensidad lumínica de un dispositivo LED en empresas de fabricación de luminarias, puede suponer un riesgo para el trabajador, de tal forma que sea necesario el estableci-

■ Figura 1 ■ Lámparas LED en un acuífero



miento de medidas para su control, como puede ser la utilización de un protector ocular. En este último caso, la selección del filtro de protección más adecuado no es trivial, ya que los filtros actualmente disponibles en el mercado están caracterizados a través de su transmisión en la franja espectral del visible (grado de protección) y no a través de su transmisión en el rango de la luz azul, no existiendo una correlación lineal entre ambas transmisiones. En este artículo se expo-

ne la **metodología** a seguir para determinar el filtro de protección ocular más adecuado para cada fuente LED, así como las **conclusiones** al respecto obtenidas a partir de un estudio realizado por el INRS (*Institut National de Recherche et de Sécurité*).

En operaciones de mantenimiento o control de calidad de la intensidad lumínica de un dispositivo LED, los operarios llevan a cabo un control visual mientras las fuentes

■ **Figura 2** ■ **Exposición de las plantas a radiación LED en un invernadero**



■ **Figura 3** ■ **Control de calidad en empresa de fabricación de luminarias LED (cortesía de LEC, S.L.)**



permanecen en funcionamiento; esto implica exposición ocular a niveles de intensidad lumínica elevados, pudiendo llegar a superarse los valores límite de exposición (VLE) establecidos para el ojo en el rango de emisión de la fuente. En concreto, por el riesgo de exposición a la luz azul, principalmente en fuentes LED de luz blanca, que puede provocar en el ojo daños en la retina en una exposición de corta duración a una fuente muy intensa o tras una exposición más prolongada a una luz menos brillante.

## METODOLOGÍA

Para los equipos de protección ocular, no existe una norma técnica específica que establezca requisitos de protección frente a

la radiación LED. Por ello, para evaluar la eficacia de protección de los filtros actualmente disponibles en el mercado en función de la fuente de iluminación LED a la que se esté expuesto, se puede seguir la siguiente metodología con objeto de determinar qué filtro se adapta mejor:

1. En primer lugar, se determina la radiancia en el rango de la luz azul de la fuente LED considerada. Para ello, el espectro de emisión de la fuente LED  $E(\lambda)$  se multiplica por la función de ponderación de la luz azul  $B(\lambda)$  para obtener la radiancia en el azul  $L_B$  de la fuente:

$$L_B = \frac{\sum_{300}^{700} E(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\omega}$$

siendo  $\omega$  el ángulo sólido subtendido entre la fuente y el observador.

2. A continuación, se determina la radiancia en el azul a través del filtro que se pretenda evaluar, aplicando la siguiente fórmula:

$$L_{B(\text{filtro})} = \frac{\sum_{300}^{700} E(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\omega}$$

siendo  $\tau(\lambda)$  el factor de transmisión de un filtro, es decir, la fracción entre el flujo energético transmitido por el filtro con respecto al flujo energético incidente sobre él, para cada longitud de onda.

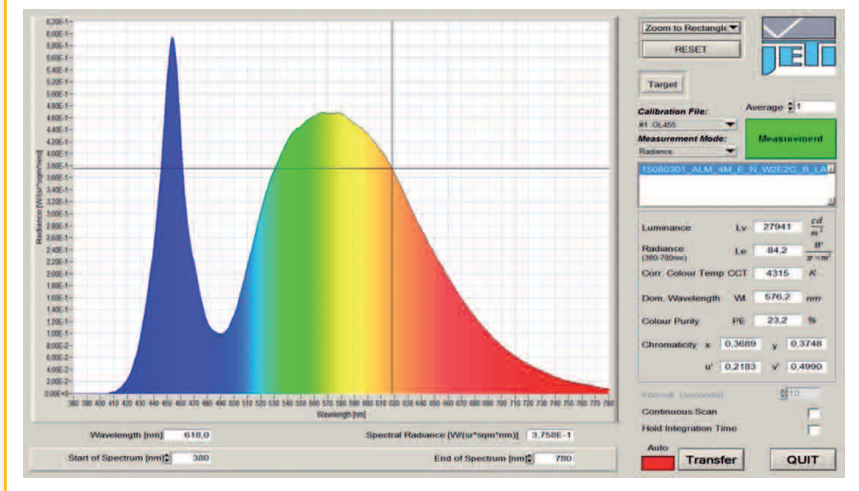
3. Después se determina el factor de protección del filtro (FPF) (véase la NTP 1089 Radiaciones ópticas artificiales: aplicación de los VLE para la determinación del factor de protección de un filtro (FPF) de protección ocular).

En el caso que nos ocupa, según recoge el Real Decreto 486/2010 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales, el valor límite de exposición sería el VLE-3a; dicho valor, considerando un tiempo de exposición superior a 10.000 s, es de 100 W/(m<sup>2</sup>sr) (este VLE se aplica para evaluar el riesgo por exposición a luz azul. Véase la *Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales*, del INSHT). También es el VLE establecido en la norma IEC 62471, relativa a la seguridad fotobiológica de lámparas, para las lámparas clasificadas en el grupo exento, es decir, las que no representan ningún riesgo fotobiológico.

De esta forma, el FPF vendrá determinado por la siguiente relación:

$$FPF = \frac{L_B}{L_{B(\text{filtro})}}$$

■ Figura 4 ■ Espectro de emisión de una fuente LED de 4135 K de temperatura de color (cortesía de LEC, S.L.)



$$I_{\text{riesgo}} = \frac{L_B}{VLE - 3a} = \frac{L_B}{100}$$

Si el  $I_{\text{riesgo}}$  es mayor que 1, indica que se supera el VLE y, por tanto, habrá que dotar al trabajador de un filtro de protección que reduzca la exposición por debajo del VLE aplicado, de tal forma que para que al trabajador le llegue una radiancia menor, en la parte espectral de la luz azul, que el VLE, el FPF debe ser del mismo orden que el  $I_{\text{riesgo}}$ , es decir,  $FPF \approx I_{\text{riesgo}}$ .

$$L_B = 100 * FPF$$

Por lo tanto, a partir del FPF podemos determinar la radiancia máxima en la parte de la luz azul del visible frente a la que puede proteger el filtro considerado.

- Se estima la luminancia máxima en el visible de la fuente LED ( $L_{v,vis}$ ). La luminancia  $L_v$  es la magnitud fotométrica equivalente a la radiancia  $L$ , magnitud radiométrica.

Una vez conocida  $L_B$  podemos determinar la luminancia en el visible de la fuente LED aplicando lo establecido en el informe técnico IEC/TR 62778 *Aplicación de la IEC 62471 para la evaluación del riesgo de luz azul debido*

a fuentes de iluminación y luminarias. En este informe se propone una evaluación del riesgo de luz azul en la retina, basado en las coordenadas cromáticas de la fuente de emisión. Para ello, define la eficacia de radiación luminosa para el riesgo por luz azul  $K_{B,v}$ , cuyas unidades son W/lm, como el cociente siguiente:

$$K_{B,v} = \frac{L_B}{L_{v,vis}} = \frac{\int_{300}^{700} L(\lambda)B(\lambda)}{K_m \int_{300}^{700} L(\lambda)V(\lambda)}$$

siendo  $K_m=683$  lm/W el valor máximo de la eficacia luminosa de la radiación para visión fotópica ( $\lambda=555$  nm).

Teniendo en cuenta lo siguiente:

- la curva de sensibilidad espectral fotópica  $V(\lambda)$  es, por definición, igual a la curva Y CIE 1931;
- la función de ponderación de la luz azul  $B(\lambda)$  es muy próxima a la curva Z CIE 1931.

Estas dos curvas son las que se usan para determinar las coordenadas cromáticas  $x$  e  $y$  de un espectro; por lo tanto, como  $K_{B,v}$  depende de  $B(\lambda)$  y  $V(\lambda)$ , presentará una correlación con la siguiente ecuación:

$$\frac{Z}{Y} = \frac{1 - x - y}{y}$$

Sustituyendo en la expresión para determinar  $K_{B,v}$ :

$$K_{B,v} = \frac{L_B}{L_{v,vis}} = \frac{\int_{300}^{700} L(\lambda)Z(\lambda)}{K_m \int_{300}^{700} L(\lambda)Y(\lambda)} = \frac{(1 - x - y)}{K_m Y}$$

De ahí podemos estimar la luminancia máxima en el visible del LED ( $L_{v,vis}$ ), dato que suele estar disponible por parte de los fabricantes, a la que el usuario puede estar expuesto utilizando el filtro de protección objeto de estudio. La fórmula es:

$$L_{v,vis} = \frac{K_m y L_B}{(1 - x - y)}$$

donde:

$K_m=683$  lm/W es el valor máximo de la eficacia luminosa de la radiación para visión fotópica ( $\lambda=555$  nm).

$L_B$  es la radiancia en el rango de la luz azul medida en  $W/(m^2sr)$ .

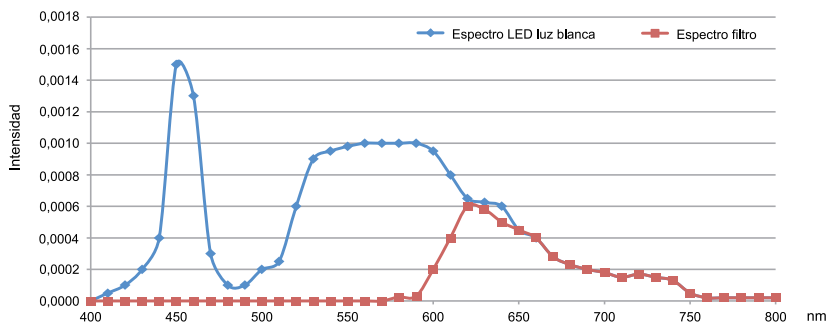
$x$  e  $y$  son las coordenadas cromáticas.

En la figura 5 se representa, por un lado, el espectro de emisión de un LED de luz blanca y, por otro, la curva de transmisión de un filtro genérico; como se puede observar, el filtro absorbe la mayor parte de la radiación que incide sobre él entre los 380 y los 580 nm.

## CONCLUSIONES

Un estudio realizado por el INRS basado en la metodología indicada anteriormente arroja los siguientes resultados considerando una fuente LED de temperatura de color de 3700 K:

■ **Figura 5** ■ **Acción de un ocular filtrante sobre el espectro de emisión de una fuente LED**



- Los oculares de color naranja, amarillo o de protección láser pueden ser adecuados para la protección en operaciones de mantenimiento de fuentes LED. De los oculares analizados se determina que ofrecen protección frente a luminarias LED de luminancia entre  $10^6$  y  $10^9$  cd/m<sup>2</sup>.
- La protección que ofrecen algunos filtros de soldadura es adecuada para la protección de la exposición a radiación LED durante su fabricación. No obstante, durante la fabricación se debe anteponer el uso de la protección colectiva, como cortinas de soldadura, antes que el uso de EPI. Las cortinas de soldadura analizadas en este estudio ofrecían protección frente a las fuentes LED con luminancias del orden de  $10^8$  cd/m<sup>2</sup>.

Este estudio ha confirmado empíricamente que no existe correlación entre la transmisión en el visible que ofrece un filtro y su transmisión en el rango de la luz azul; sin embargo, sí existe correlación entre la transmisión de la luz azul

de un filtro calculada sobre el espectro de emisión de una fuente LED y la calculada sobre el espectro de emisión de los iluminantes normalizados A y D<sub>65</sub>. Esto último significa que, a nivel de normalización, se podrían establecer requisitos para la transmisión en el rango de la luz azul a partir de los iluminantes normalizados que actualmente están definidos (publicación CIE n.º 15). No obstante, para facilitar al usuario la selección de un filtro de protección ocular frente a la luz azul de una fuente LED, los fabricantes de este tipo de EPI pueden proporcionar como información adicional el factor de transmisión del filtro en el rango de la luz azul respecto a los iluminantes A o D<sub>65</sub>.

Finalmente, este estudio establece como recomendación general, cuando no se conoce ninguno de los siguientes parámetros: radiancia en el azul de la fuente LED a la que el usuario esté expuesto, radiancia en el visible o el factor de transmisión del filtro para la luz azul, que se puede considerar que no existe riesgo asociado a la luz azul emitida por una fuente LED si, al observar dicha fuente a través de un filtro del que no se conozca su curva de transmisión, no se detecta deslumbramiento.

Agradecimientos: a la empresa LEC, S.L. por su colaboración. ●

## ■ Bibliografía ■

- Real Decreto 486/2010, de 23 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales. BOE n.º 99 de 24 de abril.  
[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-6485](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-6485)
- INSHT (2015). Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las radiaciones ópticas artificiales.  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Guias%20Normativa/guia%20radiaciones%20opticas.pdf>
- INSHT (2017). NTP 1089 Radiaciones ópticas artificiales: aplicación de los VLE para la determinación del factor de protección de un filtro (FPF) de protección ocular.  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/ntp-1089M.pdf>
- INRS. *Rayonnements optiques et electromagnetiques au travail. Compte-rendu du colloque 20,21 et 22 octobre 2015 à Paris. Equipements de protection contre les risques dus aux LED d éclairage.*
- Vocabulario electrotécnico internacional.  
<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=845-02-10>
- Comisión Internacional de Iluminación.  
<http://www.cie.co.at/publications/colorimetry>
- AENOR. Norma UNE — EN 62471:2009 Seguridad fotobiológica de lámparas y de los aparatos que utilizan lámparas.
- AENOR. Norma IEC/TR 62778: 2014 *Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires.*
- AENOR. Norma UNE — EN 165. Equipos de protección individual de los ojos. Vocabulario.
- AENOR. Norma UNE — EN 166. Equipos de protección individual de los ojos. Especificaciones.
- AENOR. Norma UNE — EN 169. Equipos de protección individual de los ojos. Filtros para soldadura y técnicas relacionadas. Especificaciones del coeficiente de transmisión y uso recomendado.
- AENOR. Norma UNE — EN 170. Equipos de protección individual de los ojos. Filtros para el ultravioleta. Especificaciones del coeficiente de transmisión y uso recomendado.
- AENOR. Norma UNE — EN 172. Equipos de protección individual de los ojos. Filtros de protección solar para uso laboral.