

# Deslumbramiento en dispositivos led

## Resumen

En el presente trabajo se presenta un estudio realizado en el LAL a dispositivos para señalización (semáforos, balizas, barrales lumínicos) con tecnología led. Las mediciones tradicionales de intensidad luminosa se complementaron con el análisis de la luminancia de los dispositivos, evaluada para diversas aperturas angulares. Los resultados obtenidos marcan un notorio incremento en las luminancias puntuales, para valores de emisión globales comparables a los obtenidos en dispositivos convencionales. Este efecto, sumado al grado relativamente alto de coherencia en el caso de luces de color, podría derivar en nuevos tipos de deslumbramiento, posiblemente no contemplados en las recomendaciones vigentes.

## Introducción

El término “deslumbramiento” alude a una particular condición de visión en la que existe molestia (discomfort), reducción en la capacidad visual o ambos fenómenos simultáneamente. Las causas del deslumbramiento pueden ser:

- » Inadecuada distribución espacial de luminancias.
- » Rango de luminancias extremos en el campo visual.
- » Excesivo contraste en espacio o tiempo.

Se acostumbra a diferenciar dos tipos de deslumbramiento:

- » Deslumbramiento molesto (también denominado “psicológico”)
- » Deslumbramiento perturbador (o “fisiológico”)

La primera definición alude a situaciones perceptivas en la que existe cierta incomodidad no necesariamente acompañada por una alteración en la visión de los objetos. En la segunda forma, en cambio, hay pérdida de capacidad visual, que puede o no estar ligada a sensaciones de molestia o incomodidad. En ciertas situaciones, ambos tipos de deslumbramiento ocurren en forma simultánea.

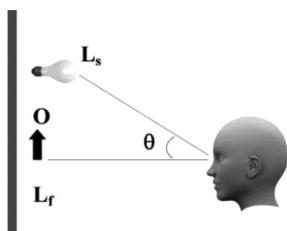
Las investigaciones realizadas hasta el presente indican que la luminancia de la fuente es la principal responsable del deslumbramiento molesto. El deslumbramiento perturbador, en cambio, está más ligado a la cantidad de luz que ingresa al sistema visual. Nuevamente, aquí tenemos la posibilidad de encontrar efectos combinados: fuentes de deslumbramiento con gran luminancia que generan a su vez altos niveles de iluminancia intraocular.

La relación entre los diversos factores que causan el deslumbramiento es por lo general compleja, por lo que los valores o índices utilizados como parámetros de control o limitación dependen del modelo empleado para describir la situación a evaluar. Estos modelos surgen a su vez de los esquemas experimentales usados en las investigaciones que, en líneas generales, se han orientado al alumbrado de interiores, por un lado, y al alumbrado vial, por otro.

## Deslumbramiento molesto

La situación básica para describir el deslumbramiento molesto se ilustra en la figura 1, en donde una fuente deslumbrante de lu-

minancia  $L_s$  se ubica en el campo visual periférico de un observador cuya línea de visión se dirige a un objeto O. El objeto es visible gracias al contraste que ofrece contra un fondo de luminancia  $L_f$ . La línea de visión está desplazada un ángulo  $\theta$  respecto a la posición de la fuente de deslumbramiento.



**Figura 1.**  
Esquema básico para describir el deslumbramiento molesto.

Para esta situación, las investigaciones realizadas concluyen que el deslumbramiento es mayor conforme se reduce el ángulo de desplazamiento  $\theta$  entre la línea de visión y la fuente de deslumbramiento. También se incrementa con el tamaño de la imagen que forma la fuente deslumbrante en la retina del ojo del observador y su luminancia. Por otra parte, el deslumbramiento se reduce con el aumento de la luminancia de fondo ( $L_f$ ), considerando que el observador tiene su visión adaptada a este valor.

El índice adoptado como indicador del grado de deslumbramiento ( $G$ , 'glare constant', según CIE) asume la forma indicada en la ecuación (1).

$$G = \frac{L_s^a W^b}{L_f^c F(\theta)} \quad (1)$$

En la ecuación (1), " $W$ " es el ángulo sólido que contiene a la fuente de deslumbramiento y " $F(\theta)$ " es una función compleja que relaciona el desplazamiento vertical y horizontal de la fuente, ponderando su influencia. Los exponentes " $a$ ", " $b$ " y " $c$ " dependen de la situación. Para el caso de fuentes deslumbramiento pequeñas con altas luminancias, se adoptan  $a = 1,3$ ,  $F(\theta) \approx 1$  y  $b = c = 1$ .

Valores de  $G$  menores a diez indican niveles de deslumbramiento imperceptibles. Por otro lado, 150 es el límite adoptado para la máxima molestia aceptable. Valores mayores (600) estarían en el límite de lo intolerable.

Cuando la situación deja de ser estática, esto es, el observador se desplaza, la caracterización es más compleja. El alumbrado de rutas y autopistas constituye el caso típico en el que existe un movimiento relativo entre el observador y la fuente. El índice empleado, también llamado " $G$ " ('glare control mark'), se indica en la expresión (2).

$$(2) G = SLI + 0,97 \log L_{av} + 4,41 \log (h) - 1,46 \log (p)$$

$G$  depende de parámetros propios de la luminaria, agrupados en el SLI ('Specific Luminaire Index'), de la luminancia media de la calzada ( $L_{av}$ ), distancia vertical ente el observador y la altura de montaje de las luminarias ( $h$ ) y cantidad de luminarias por kilómetro ( $p$ ).

La escala usada es inversa al caso anterior: valores chicos ( $\approx 1$ ) indican deslumbramiento inaceptable.

### Deslumbramiento perturbador

El método empleado para evaluar el deslumbramiento perturbador se basa en los estudios de Holladay, Adrian y Schreuder, entre otros. Tomando como base un esquema similar al de la figura 1, se estimó el ocultamiento o velo sobre el objeto observado producido por la luz de la fuente de deslumbramiento que ingresa al ojo. El efecto se cuantificó con la luminancia equivalente de velo  $L_v$ .

$$(3) L_v = 10 (E_{ojo} / \theta^2)$$

La luminancia equivalente de velo depende directamente de la iluminancia que produce la fuente de deslumbramiento sobre el ojo, en un plano perpendicular a línea de visión ( $E_{ojo}$ ) e inversamente con el cuadrado del ángulo entre la línea de visión y la fuente de deslumbramiento (en grados). La expresión (3) tiene como límites de aplicación valores de  $\theta$  menores a  $60^\circ$  y hay, además, correcciones por la edad del observador.

La luminancia de velo se adiciona tanto a la luminancia del fondo como a la del objeto, lo que determina una pérdida efectiva de contraste. De este modo, para que el objeto se mantenga con igual grado de visibilidad, el contraste en la escena con fuente de deslumbramiento debería aumentarse en el llamado "umbral de

percepción" (TI), obtenido con el expresión empírica (4).

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{o,s}} \frac{L_{av}}{L_{av}} \quad (4)$$

"TI" es una medida de cuánto se perturba la visión del objeto. Valores entre diez y veinte son los límites admitidos en el alumbrado público.

En interiores o ambientes laborales, se puede limitar el deslumbramiento en forma simplificada. Por ejemplo, estableciendo relaciones máximas entre la luminancia de fondo y objeto para diferentes ángulos de visión. Otra alternativa es establecer relaciones entre la luminancia de velo y la luminancia de fondo.

### El estudio

La base del presente estudio la constituye el reclamo de usuarios de la vía pública, recogido de las consultas efectuadas al laboratorio y difundido además por medios de comunicación. Este se fundaba en la molestia que ocasionaban dispositivos de señalización que usaban ledes como fuente de iluminación. Específicamente, los equipos catalogados como "deslumbrantes" tenían la particularidad de poseer ledes individualmente visibles. El signo que representaba la señal (una circunferencia, una flecha, letra, etc.) estaba conformado por la sumatoria de puntos de luz y se veía como homogéneo solo a una distancia considerable. El efecto molesto fue a su vez advertido por los laboratoristas encargados de realizar las fotometrías, que normalmente observan la señal en el momento de centrado y ajuste en el sistema de medición. El deslumbramiento se constató en equipos cuyas intensidades emitidas no eran sustancialmente distintas a las de dispositivos convencionales, considerando a estos últimos como uniformemente iluminados (independientemente de si se usan o no ledes).

Los equipos estudiados fueron de tres tipos:

- » Semáforos para tránsito vehicular, colores rojo, amarillo y verde, 200 y 300 mm de diámetro nominal.
- » Barrales con luces de señalización para vehículos (patrulleros), color azul.
- » Cartel tipo publicitario, para señalización en comercios farmacéuticos, forma de cruz, color verde.

La figura 3 ilustra los equipos del primer y segundo grupo. Los diámetros de los ledes usados se encontraban entre 2 y 5 mm, mientras que la separación entre elementos adyacentes observados alcanzaba los 12 mm.



Figura 3. Ejemplos de los equipos estudiados.

Solo los equipos del primer grupo están normalizados según la práctica europea, la usual en nuestro país. El resto de los equipos no tiene una regulación clara y más allá de una forma externa generalmente estándar, los valores lumínicos son muy variables.

### Mediciones

La figura 4 muestra el esquema experimental usado para las mediciones de luminancia.

La luminancia del dispositivo en estudio se midió con un luminómetro según Pritchard, utilizando aperturas angulares y distancias de medición tales que permitieron explorar áreas de la superficie luminosa desde aproximadamente 40 mm de diámetro hasta menores a un led individual (menor a 1 mm de diámetro). Paralelamente, se midieron las intensidades luminosas emitidas, utilizando un sistema gonio-fotométrico tradicional.

La figura 5 muestra los resultados obtenidos para semáforos para tránsito vehicular. Las luminancias medidas se incrementan conforme disminuye la superficie captada por el instrumento, hasta valores superiores a 105 cd/m<sup>2</sup> cuando se cubre un led individual. El modelo nominado "Gleds" posee una separación promedio entre ledes de 9 mm con un tamaño de led de 5 mm. Las dimensiones respectivas son 12 y 2 mm para los indicados como "Mleds".

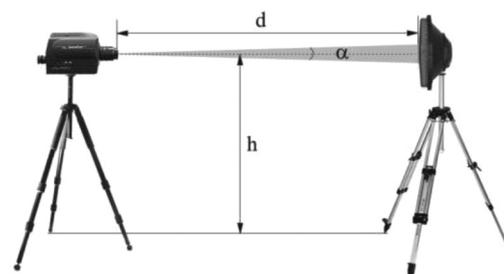
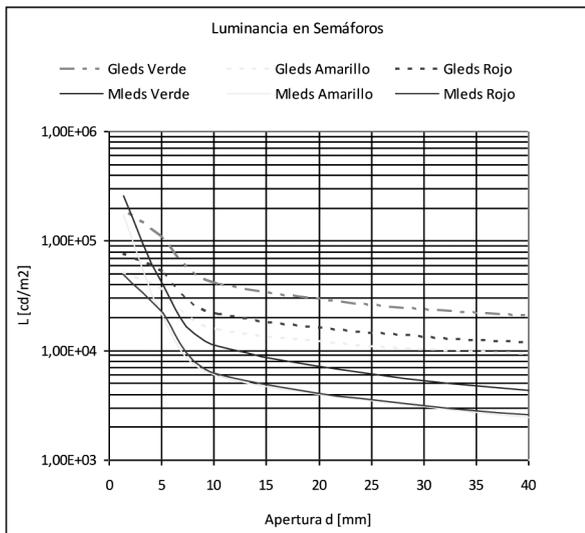


Figura 4. Esquema experimental.



**Figura 5. Mediciones de luminancia en cabezales de semáforos.**

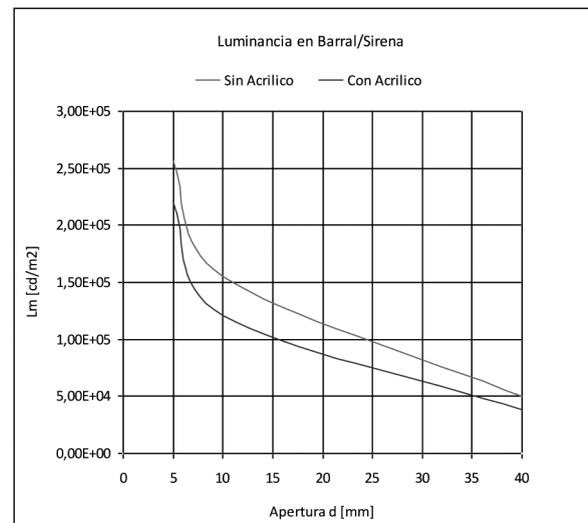
Valores similares se obtuvieron para el caso de barrales y carteles publicitarios. La figura 6 muestra, a modo de ejemplo, los resultados en un barral para vehículo policial, con distancia entre ledes de 9 y 5 mm de tamaño de led.

En la tabla 1 se comparan valores medidos con los normalizados según el estándar europeo, para una señal de 300 mm de diámetro, tipo 3/1, común en avenidas importantes de nuestro país. El área luminosa considerada fue de 0,071 m<sup>2</sup> y las luminancias promedio se obtuvieron como  $L = I/A$ .

	Imín. eje principal (cd)	Imáx. eje principal (cd)	L promedio máxima (cd/m <sup>2</sup> )	
Valor normalizado EN 12368-06	400	1000	14 10 <sup>3</sup>	
	Eje principal (cd)		L promedio (cd/m <sup>2</sup> )	L puntual máxima (cd/m <sup>2</sup> )
Valores medidos	570		8 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>5</sup>

**Tabla 1. Valores medidos y normalizados.**

Se puede observar que la luminancia percibida por el observador cuando se distinguen los puntos luminosos es 25 veces mayor a

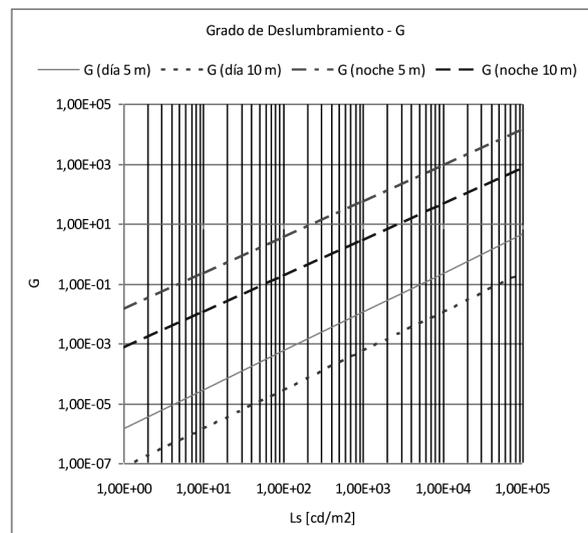


**Figura 6. Mediciones de luminancia en barrales.**

la luminancia promedio de la señal, y casi quince veces más grande que la máxima permitida por la norma.

### Análisis de resultados

Un primer punto a considerar es qué grado de molestia puede atribuirse a tales valores de luminancia puntual. En principio, no puede catalogarse como "deslumbramiento perturbador", ya que ni  $L_v$  o TI (ecuaciones 3 y 4) poseen valores perjudiciales, sin diferencias con un equipo tradicional. Sin embargo, la situación cambia al considerar el índice G (ecuación 1). La figura 7 muestra los valores calculados para una luminancia de fondo típica en condición de día ( $L_f = 1000 \text{ cd/m}^2$ ) y noche ( $L_f = 1 \text{ cd/m}^2$ ) y diferentes distancias de observación. Estas definen, para señales del orden de 300 mm de diámetro, una gama de ángulos sólidos  $\omega$ .



**Figura 7. Indicador del grado de deslumbramiento G.**

Como es lógico prever, valores de  $L_s$  ligeramente superiores a  $105 \text{ cd/m}^2$  no resultan molestos en situación de día ( $G$  menor a 10), pero superan ampliamente el límites de lo tolerable en situación de noche, con valores extremos (104) para cortas distancias de observación.

Por otra parte, es necesario establecer cuándo la señal comienza a percibirse como discreta (formada por puntos). Considerando el esquema elemental de la figura 8, la agudeza visual definirá, para una distancia  $D$  de observación, la separación máxima entre ledes a partir de la cual la señal es percibida como homogénea.

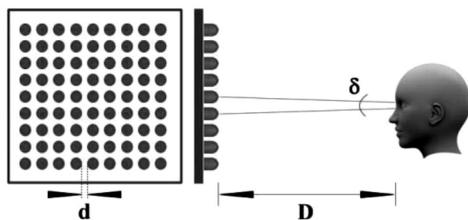


Figura 8. Percepción de la señal.

La máxima agudeza visual depende, entre otros factores, del tipo de objeto usado en la experiencia, su contraste y la luminancia de adaptación. Según algunos autores, los valores se encuentran entre 0,5 y 1 minuto de arco. En la figura 9 se muestra la relación entre  $D$  y  $d$  para el caso de las señales estudiadas. Con  $d$  entre 5 y 12 mm, la distancia  $D$  límite a partir de la cual se distinguirán los puntos luminosos resulta menor a 15/20 m.

Adicionalmente, si el ángulo subtendido por la señal es tal que su imagen ocupa una porción importante de la fovea o se centra en la foveola, la emisión de cada led afectará a un número relativamente chico de células fotorreceptoras, y con ello el efecto deslumbrante será más severo. Este ángulo sólido de máxima agudeza visual varía entre  $54'$  y  $1,2^\circ$ , lo que resulta en una distancia de observación menor a 15 m para señales de 300 mm de diámetro.

### Conclusiones

Como toda nueva tecnología, el uso de ledes trae aparejadas ventajas (incremento de eficiencia de los dispositivos, estabilidad del color, mejores posibilidades de diseño) y efectos indeseados. Este es el caso de las altas luminancias detectadas, que pueden causar perturbaciones o molestias para ciertas situaciones de uso. En el caso de equipos

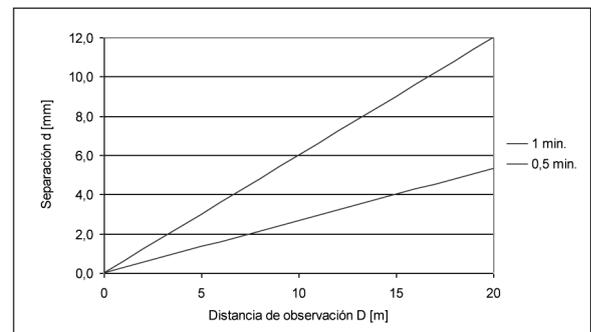


Figura 9. Percepción de puntos y agudeza visual.

diseñados bajo norma (semáforos), el efecto deslumbrante escapa a los límites o controles establecidos para el funcionamiento correcto, ya que las recomendaciones se orientan a señales uniformes y no conformadas por puntos luminosos. Resulta entonces indispensable avanzar en la actualización de estas a fin de limitar el fenómeno.

En igual sentido, los resultados mostrados alertan sobre la necesidad de generar regulaciones para la totalidad de los equipos luminosos instalados en la vía pública. La tendencia indica que la emisión de los ledes continuará incrementándose, a la par que disminuirá el tamaño de las superficies emisoras. Debe entonces legislarse con especial énfasis en limitar las luminancias presentes en el entorno visual de conductores y peatones usuarios del espacio público.❖

### Referencias

Nota del editor: La nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar a los autores.

\* Nota del editor: la nota aquí reproducida fue originalmente presentada por los autores como artículo de investigación en *Luxamérica 2012*.

Por  
**Ingenieros Pablo Ixtaina,**  
**Matías Presso y**  
**Joaquín Ferreyra**