

DESLUMBRAMIENTO EN DISPOSITIVOS LED

Pablo Ixtaina¹, Matias Presso², Joaquín Ferreyra³

^{1,3} Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires LAL CIC - Argentina

² Instituto de Investigación en Tecnología Informática Avanzada INTIA - UNCPBA - Argentina

E-mail: pixtaina@yahoo.com

1. 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.

2. INTRODUCCION

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 [1]. 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:

- a- Deslumbramiento molesto (también denominado psicológico)
- b- 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 [2].

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 el alumbrado vial por otro.

2.1 Deslumbramiento Molesto

La situación básica para describir el deslumbramiento molesto se ilustra en la figura 1, en donde una fuente deslumbrante de luminancia 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_r . La línea de visión está desplazada un ángulo θ respecto a la posición de la fuente de deslumbramiento.

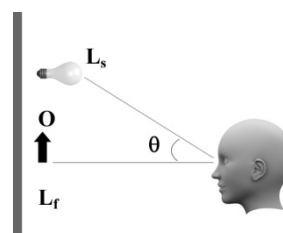


Fig.1 - Esquema básico para describir el deslumbramiento molesto

Para esta situación, las investigaciones realizadas [3,4] concluyen que el deslumbramiento es mayor conforme se reduce el ángulo de desplazamiento θ 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 10 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 para este caso), se indica en la expresión (2).

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

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 entre 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 (≈ 1) indican deslumbramiento inaceptable [5, 6].

2.2 Deslumbramiento perturbador

El método empleado para evaluar el deslumbramiento perturbador se basa en los estudios de Holladay, Adrian y Schreuder, entre otros [4,7]. Tomando como base un esquema similar al de la figura 1, se estimó el ocultamiento o velo sobre el objetos 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 .

$$L_v = 10 \frac{E_{eye}}{\theta^2} \quad (3)$$

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_{eye}) 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 θ menores a 60° y hay además correcciones por la edad del observador [8,9].

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).

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

TI es una medida de cuánto se perturba la visión del objeto. Valores entre 10 y 20 son los límites admitidos en el alumbrado público [6,10].

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 [11]. Otra alternativa es establecer relaciones entre la luminancia de velo y la luminancia de fondo [12].

3. EL ESTUDIO

La base del presente estudio lo constituye el reclamo de usuarios de la vía pública, recogido de las consultas efectuadas al laboratorio y difundido además por medios de comunicación [13]. El mismo se fundaba en la molestia que ocasionaban dispositivos de señalización que usaban como fuente de iluminación leds. Específicamente, los equipos catalogados como “deslumbrantes” tenían la particularidad de poseer los leds 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 (en forma independiente de que usen leds u otra fuente luminosa). 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 leds usados se encontraban entre 2 y 5 mm, mientras que la separación entre elementos adyacentes observados alcanzaba los 12 mm.



Fig.3 – Ejemplos de los equipos estudiados

Solo los equipos del primer grupo están normalizados, siendo la práctica europea [14] 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.

3.1 Mediciones

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

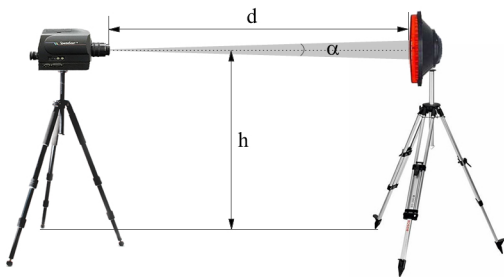


Fig.4 – Esquema experimental.

La luminancia del dispositivo en estudio se midió con un luminancímetro según Pritchard [15], 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 (<1 mm de diámetro). Paralelamente se midieron las intensidades luminosas

emitidas, utilizando un sistema goniométrico 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 10^5 cd/m² cuando se cubre un led individual. El modelo nominado “Gleds” posee una separación promedio entre leds de 9 mm con un tamaño de led de 5 mm. Las dimensiones respectivas son 12 mm y 2 mm para los indicados como “Mleds”.

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 leds de 9 mm y 5 mm de tamaño de led.

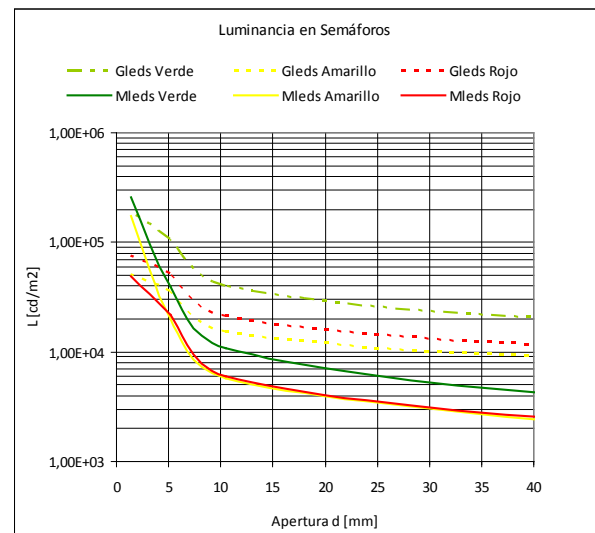


Fig.5 - Mediciones de luminancia en cabezales de semáforos

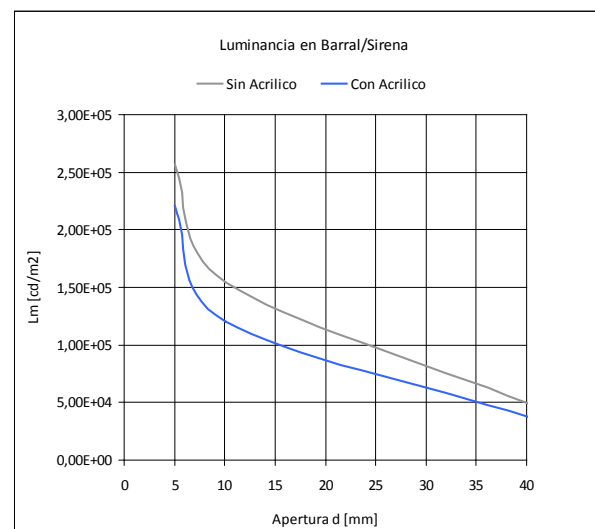


Fig.6 - Mediciones de luminancia en barrales

En la tabla 1 se comparan valores medidos con normalizados según [14], 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 m² y las luminancias promedio se obtuvieron como $L = I/A$.

Tabla 1. Valores medidos y normalizados

	I mín eje principal [cd]	I máx eje principal [cd]	L promedio máxima [cd/m ²]	
Valor normalizado EN 12368:06	400	1000	14 10 ³	
	I eje principal [cd]	L promedio [cd/m ²]	L puntual máxima [cd/m ²]	
Valores medidos	570	8,0 10 ³	2 10 ⁵	

Se puede observar que la luminancia percibida por el observador cuando se distinguen los puntos luminosos es 25 veces mayor a la luminancia promedio de la señal y casi 15 veces más grande que la máxima permitida por la norma.

4. 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, punto 2.2) poseen valores perjudiciales, no habiendo 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. Éstas definen, para señales del orden de 300 mm de diámetro, una gama de ángulos sólidos W.

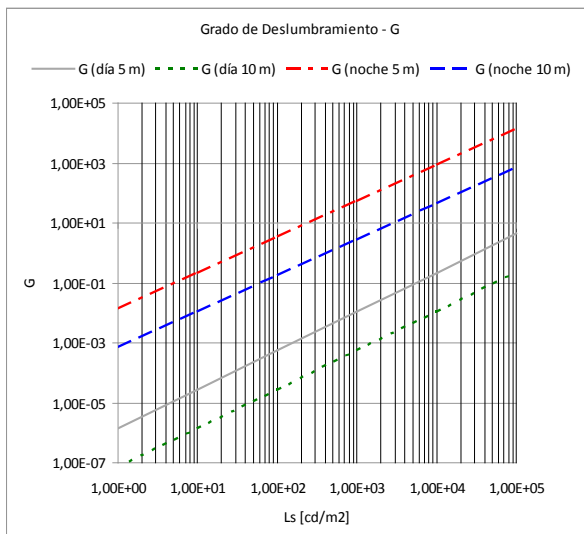


Fig.7 - Indicador del grado de deslumbramiento G

Como es lógico prever, valores de L_s ligeramente superiores a 10^5 cd/m^2 no resultan molestos en situación de “día” ($G < 10$), pero superan ampliamente el límites de lo tolerable en situación de “noche”, con valores extremos (10^4) 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 leds a partir de la cual la señal es percibida como homogénea.

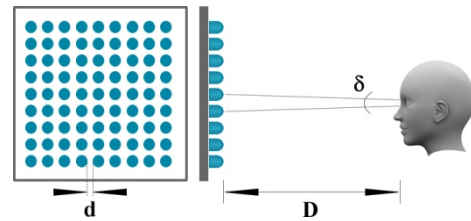


Fig.8 - Percepción de la señal

La máxima agudeza visual depende, entre otros factores, del tipo de objeto usado en la experiencia, su contraste y la luminancia de adaptación. Según los autores, los valores se encuentran entre 0,5 y 1 minuto de arco [16]. 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.

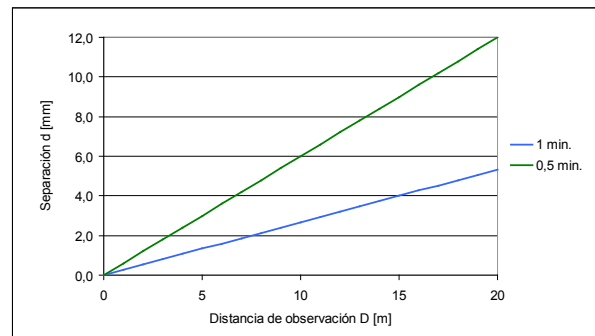


Fig.9 - Percepción de puntos y agudeza visual

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° [17], lo que resulta en una distancia de observación menor a 15 m para señales de 300 mm de diámetro.

5. CONCLUSIONES

Como toda nueva tecnología, el uso de leds trae aparejadas ventajas (incremento de eficiencia de los dispositi-

tivos, 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 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 las mismas, 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 leds 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.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde P.I. es miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico y M.P. y J.F. pertenecen al plantel Profesional.

7. REFERENCIAS

- [1] CIE Commission Internationale de l'Éclairage Publication 017/E ILV: International Lighting Vocabulary, Austria, 2011.
- [2] CIE Commission Internationale de l'Éclairage Publication 55. Discomfort Glare in the Interior Working Environment, France, 1983.
- [3] R.G. Hopkinson, “Discomfort glare in lighted streets”, Transactions of the IES, 5 (1), London, 1940.
- [4] L. Holladay, “The fundamentals of glare and visibility”, Journal of the Optical Society of America, 12 (4), 1926.
- [5] W. van Bommel, J.de Boer, “Road Lighting”, Philips Technical Library, The Netherlands, 1982.
- [6] Publication CIE N° 30-2 (TC-4.6), “Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting”. Vienna, 1982
- [7] W. Adrian, D Schreuder, “A simple method for the appraisal of glare in street lighting”, Lighting Research and Technology, vol 2, p61, 1970.
- [8] A. Fisher, A. Christie, “A note on disability glare”. Vision Research, vol 5, 1965.
- [9] B. Crawford, “The integration of the effects from a number of glare sources” Proc. Phys. Soc. of London, vol 48, 1936.
- [10] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM AADL J 2022-2, “Alumbrado Público, Vías de Tránsito – Clasificación y niveles de iluminación”. Buenos Aires, 1995
- [11] República Argentina, ley 19.587/72, “Ley de Seguridad e Higiene e el trabajo”, Anexo IV, cap. XII, Iluminación y Color, Buenos Aires, 1972.

- [12] ANSI/IESNA Illuminating Engineering Society of North America “American National Standard Practice for Roadway Lighting” RP-8-2000, NY, 2000
- [13] Diario El Día, edición de 25 de Septiembre de 2011, <http://www.eldia.com.ar/edis/20110925/ahora-cuestionan-uso-luces-led-via-publica-laciudad>.
- [14] European Committee for Standardization, European Standard EN 12368, “Traffic control equipment. Signal heads”, Brussels, 2006.
- [15] Photo Research Inc., PR880 Photometer specification, <http://www.photoresearch.com/current/pr880.asp>, 2012.
- [16] P. Moon, “The Scientific Basis of Illuminating Engineering”, McGraw Hill Book Company, London, 1936.
- [17] D. Bardier, “de la Visión al Conocimiento”, Tradinco SA editores, Montevideo, 2001.

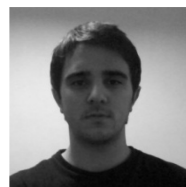
8. BIOGRAFIAS



Pablo R. Ixtaina (1965). Ing. Electricista graduado en la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Es docente en Mediciones Eléctricas e Iluminación para carreras de grado y posgrado de la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Tecnológica Nacional. Como Investigador de la CIC, ha realizado estudios de postgrado, trabajos de perfeccionamiento y visitas científicas en Universidades Nacionales y Centros Internacionales. Miembro de la Comisión “Alumbrado Público” del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Posee alrededor de 40 publicaciones en Revistas Científicas y Técnicas y en Actas de congresos.



Matías Presso (1977). Ing. en Electrónica graduado en la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Es Profesional Asistente de la CIC, ha realizado cursos de postgrado y perfeccionamiento en Universidades Nacionales e Internacionales. Autor de una decena de publicaciones en Revistas Científicas y Técnicas y en Actas de congresos.



Joaquín Ferreyra (1985). Ing. en Electrónica graduado en la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Es Pasante de la CIC, ha realizado cursos de postgrado y perfeccionamiento en la Universidad Nacional de la Plata y la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Fue Becario en el CIOp – CONICET/CIC, con desarrollos electrónicos para proyectos de investigación en satélites. Actualmente participa en el desarrollo de sistemas de medición el LAL CIC.