

Efecto del deslumbramiento transitorio sobre el umbral inferior de movimiento en función del contraste

J. Barraza, E. Colombo,

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión "Ing Herberto C. Bühler", FACET - UNT
Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán
ecolombo@herrera.unt.edu.ar

En trabajos anteriores [AFA 1998, 1999] mostramos que el umbral inferior de movimiento (LTM) aumenta con el deslumbramiento transitorio. Se diseñaron dos experimentos psicofísicos para analizar si estos resultados podrían deberse a la reducción del contraste efectivo, por el efecto de la luz dispersada en los medios ópticos del ojo, o por pérdida de sensibilidad producida en el momento del encendido de la fuente deslumbrante. En el primero se midió el LTM para condiciones de deslumbramiento estable y transitorio y sin deslumbramiento, con una red sinusoidal de 8 c/grado, de contraste de 25 % y para una iluminancia de deslumbramiento de 60 lux. Los resultados, para los dos observadores, muestran que hay diferencias significativas entre las dos condiciones estables (con y sin deslumbramiento) y la transitoria. En el segundo experimento se midió el LTM como función del contraste retiniano (2-25 %) para las condiciones sin deslumbramiento y con un deslumbramiento transitorio de 60 lux. Los resultados muestran que la curva para la situación de deslumbramiento transitorio está desplazada hacia arriba. Estos resultados apoyarían la hipótesis de que el incremento del LTM se debe a la naturaleza transitoria del fenómeno, que implica una pérdida de sensibilidad de los transductores que alimentan los mecanismos de movimiento.

In previous papers [AFA 1998, 1999] we show that the lower threshold of motion (LTM) increases with transient glare. Two experiments were carried out to check if this result is due to a reduction of the contrast, by the effect of the scattered light into the eye, or it is due to a change of sensitivity of the visual system when the glare source is turn on.

In the first experiment the LTM was measured for steady and transient glare conditions and without glare, using a sinusoidal grating of 8c/d with a contrast of 25% and a illuminance level of glare of the 60 lx. Results for both observers show significant differences between the steady conditions -with and without glare- and the transient one.

In the second experiment we measured the LTM as a function of the retinal contrast (2-25%), for both no-glare and transient glare conditions of 60 lx. We found that the sudden onset of glare increases LTM over the whole range of contrasts. This result support the hypothesis that the increase of LTM is due to the nature transitory of the phenomenon, implying a loss of sensitivity of the transducers that feed the motion mechanisms.

I INTRODUCCIÓN

El sistema visual humano es capaz de detectar y analizar patrones de luz para un rango dinámico de energía extremadamente grande debido a que posee mecanismos que controlan su sensibilidad, los mecanismos de adaptación.

Muchos de estos procesos toman lugar en la retina y su objetivo es mantener la respuesta de la misma aproximadamente constante ante los cambios en los niveles de iluminación (ver Shapley y Enroth-Cugell, 1984).

La influencia del nivel de iluminación, como así también sus variaciones temporales, sobre la sensibilidad del sistema visual, han sido ampliamente estudiadas (ver Hood y Filkenstein, 1986). Estos estudios revelan que la sensibilidad al contraste del sistema visual se ve severamente afectado por los cambios bruscos en los niveles de iluminación. Bichao y col. (1995) mostraron que modificando indirectamente las condiciones de adaptación, encendiendo en forma repentina una fuente deslumbrante ubicada en la periferia visual -deslumbramiento transitorio-, se obtienen similares resultados. En otra línea de investigación se mostró que una fuente deslumbrante actúa como campo condicionante transitorio en medidas de evaluación de

claridad en condiciones mesópicas-escotópicas (Barraza y ot., 1998; Colombo y ot. 1999, 2000). Los autores proponen un modelo no lineal para cuantificar su efecto.

En trabajos previos (Barraza y Colombo, 1999a, 1999b, 2000) se encuentra que el deslumbramiento transitorio también incrementa el umbral inferior de movimiento (LTM) aún cuando los contrastes del estímulo se mantienen por encima del umbral de detección de contrastes. Además se mostró que el efecto disminuye a medida que aumenta el tiempo entre el encendido de la fuente deslumbrante y la presentación del estímulo (Barraza y Colombo, 1999b), en forma similar a la mostrada por Bichao y col. (1995) con el umbral de contrastes, lo que sugiere que el efecto podría estar relacionado a la pérdida de sensibilidad debido al encendido de la fuente deslumbrante.

Por otro lado, es sabido que el deslumbramiento produce una reducción del contraste retiniano debido a que la luz dispersada en los medios ópticos del ojo producen un efecto de velo en la retina (Vos, 1984). Este efecto es puramente óptico por lo que no depende del tiempo transcurrido desde el encendido de la fuente deslumbrante. Varios autores (Johnston y Wright, 1985; Müller y Greenlee, 1994; Nakayama y Silverman, 1985) han mostrado que los efectos

positivos de aumentar el contraste solamente ocurre para muy bajos contrastes, hasta aproximadamente 2-3 %, produciéndose luego un efecto de saturación. En este sentido, la reducción del contraste retiniano, producida por la luminancia de velo, podría explicar los resultados obtenidos en los trabajos anteriores.

Para analizar si el incremento del LTM con el deslumbramiento transitorio se debe a la reducción del contraste retiniano o a la pérdida de sensibilidad producida por el encendido repentino de la fuente deslumbrante, se diseñaron dos experimentos, en el primero se midió el LTM para condiciones de deslumbramiento estable y transitorio y sin deslumbramiento, para un dado valor de iluminancia de deslumbramiento, en el otro experimento, se mide el LTM en función del contraste retiniano para iguales niveles de deslumbramiento transitorio y estable.

II. MÉTODOS

Deslumbramiento

El deslumbrante usado como campo condicionante indirecto, se generó con una lámpara incandescente reflectora de 75 W, ubicada a 10° del eje visual y dirigida hacia los ojos del observador. La lámpara era encendida 100 ms antes de la presentación del estímulo. Debido a que el encendido de la lámpara no es instantáneo, sino que tiene una constante de tiempo de aproximadamente 50 ms, el lapso efectivo entre el encendido del deslumbramiento y la presentación del estímulo fue aproximadamente de 50 ms.

La figura 1 muestra un esquema de la presentación del estímulo y del deslumbramiento durante el intervalo de una de las exposiciones. La curva de arriba representa la modulación del contraste y la de abajo la intensidad del deslumbramiento.

Durante la exposición del observador al deslumbramiento, la dispersión intraocular produce una luminancia de velo que reduce el contraste retiniano del estímulo, el cual puede calcularse sumando la luminancia de velo a las luminancias mínima (L_{min}) y máxima (L_{max}) en la fórmula del contraste de Michelson:

$$C_g = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min}) \quad (1)$$

Resultando, para el contraste retiniano:

$$C_R = C_g \left(\frac{L_m}{L_m + L_v} \right) \quad (2)$$

donde L_m es la luminancia media del estímulo y L_v es la luminancia de velo equivalente que se determina con la fórmula empírica:

$$L_v = k \frac{E_g}{\theta^n} \quad (3)$$

donde E_g es la iluminancia vertical medida entre los ojos del observador, y θ es el ángulo entre la fuente deslumbrante y el eje visual, expresado en grados, k y n son constantes cuyos valores son 10 y 2 respectivamente, para $\theta > 5^\circ$ y adultos jóvenes (ver Vos, 1984). El valor de E_g usado en este trabajo fue de 60 lx, por lo que $L_v = 6 \text{ cd/m}^2$.

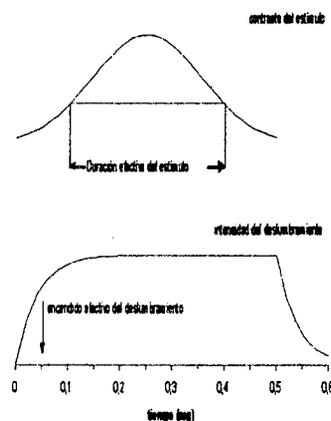


Figura 1. Presentación del estímulo y del deslumbramiento en el tiempo.

Estímulos

Los estímulos se presentan en un monitor EIZO T5601-T a una frecuencia de 120 Hz, usando un generador de estímulos visuales VSG 2/3 de Cambridge Research Systems. Este sistema permite presentar patrones de luminancia con una resolución, en niveles de grises, de 12 bits por pixel, lo que permite realizar un control preciso del contraste.

Los estímulos se presentaron en un campo circular cuyo diámetro subtendía un ángulo visual de 4°, a una distancia de observación de 2m. La luminancia media de la pantalla (fondo y patrón) era de 2 cd/m^2 . Los estímulos fueron redes verticales de luminancia moduladas sinusoidalmente generadas con el método previamente descrito por Cox y Derrington (1994).

Las redes se presentaban durante 500 ms y el contraste de los patrones fue controlado por una función Gaussiana del tiempo para evitar efectos transitorios en la presentación del estímulo. Su desviación estándar o constante de tiempo fue de 150 ms. Expresamos la duración efectiva del estímulo como dos veces la desviación estándar (criterio estándar: 1/e del contraste máximo).

Sujetos y tarea

Dos observadores, entrenados y con experiencia en experimentos de movimiento, tomaron parte en el experimento. La tarea se realizó binocularmente, con la cabeza apoyada en un soporte para evitar los cambios de posición, y con pupila y acomodación

natural.

Se utilizó una tarea de discriminación de dirección de movimiento, en la cual se presenta el estímulo en dos intervalos, en uno, elegido aleatoriamente, se presentaba el estímulo con una dirección, y en el otro, se presentaba el estímulo con la dirección de movimiento contraria. El observador debía responder en qué intervalo se había presentado una dada dirección. Se utilizó el paradigma de elección forzada entre dos alternativas con estímulos constantes para determinar las curvas psicométricas que relacionan porcentaje de respuestas correctas en función de la frecuencia temporal del estímulo. Para calcular el valor umbral, se ajustaron a los datos funciones de Weibull (ver Macmillan y Douglas Greenman, 1991).

Los observadores eran adaptados a la luminancia del estímulo (2cd/m^2) durante 5 minutos antes de comenzar una sesión de medición.

Se diseñaron dos experimentos psicofísicos para analizar si estos resultados podrían deberse a la reducción del contraste efectivo, por el efecto de la luz dispersada en los medios ópticos del ojo, o por pérdida de sensibilidad producida en el momento del encendido de la fuente deslumbrante. En el primero se midió el LTM para condiciones de deslumbramiento estable y transitorio y sin deslumbramiento, con una red sinusoidal de 8 c/grado, de contraste de 25 %. En el segundo experimento se midió el LTM como función del contraste retiniano (2-25 %) para las condiciones sin deslumbramiento y con deslumbramiento transitorio.

III. RESULTADOS

Experimento 1

Las figuras 2.a y 2.b muestran, para ambos observadores, el porcentaje de respuestas correctas en función de la frecuencia temporal del estímulo, para las tres condiciones: sin deslumbramiento, deslumbramiento estable y deslumbramiento transitorio, en ambos casos de 60 lx. Con símbolos se representan los resultados experimentales y con líneas los ajustes de la función de Weibull. Las figuras muestran que las curvas psicométricas correspondientes a las condiciones sin deslumbramiento y deslumbramiento estable, se encuentran prácticamente superpuestas lo que indicaría que no hay efecto del deslumbramiento estable sobre el LTM. Esto constituye una evidencia para rechazar la hipótesis de que el aumento del LTM se debería a la reducción del contraste retiniano. Por otra parte, la curva obtenida con deslumbramiento transitorio se encuentra desplazada hacia la derecha lo que indica que el umbral es mayor en esta condición. Es decir que para iguales valores de deslumbramiento estable y transitorio, sólo el transitorio incrementa el LTM. Como se explicó antes, la diferencia entre las condiciones estable y transitoria es que en el primer caso el sujeto se adapta a la condición de

deslumbramiento mientras que en la segunda se enciende la fuente deslumbrante casi simultáneamente con la presentación del estímulo. Por lo tanto, lo que estaría afectando la medición del LTM sería el repentino aumento de la luminancia de adaptación, más que el deslumbramiento mismo.

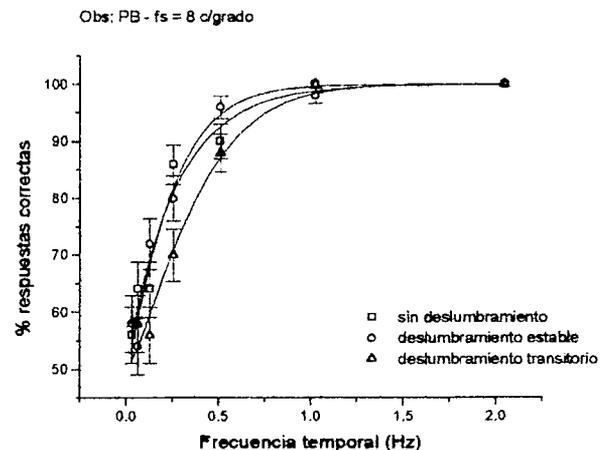


Figura 2 a

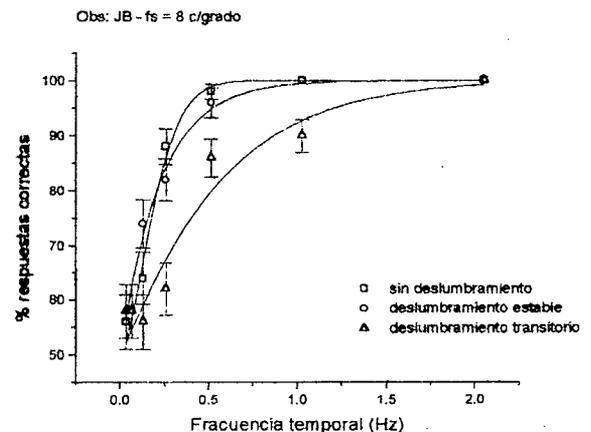


Figura 2b

Experimento 2

Las figuras 3.a y 3.b muestran el LTM en función del contraste retiniano para ambas condiciones: sin deslumbramiento y deslumbramiento transitorio de 60 lx. Las curvas muestran, en ambos casos, el comportamiento típico del LTM con el contraste: primero disminuye con el aumento del contraste y luego se estabiliza (Nakayama y Silverman, 1985; Johnston y Wright, 1985; Muller y Greenlee, 1994). Según Nakayama y Silverman (1985) esta tendencia a un valor estable podría deberse a un proceso de saturación no lineal de los detectores de movimiento. El resultado más relevante de este experimento es que la curva del LTM obtenida en condiciones transitorias

Obs: JB - fs=1 c/grado

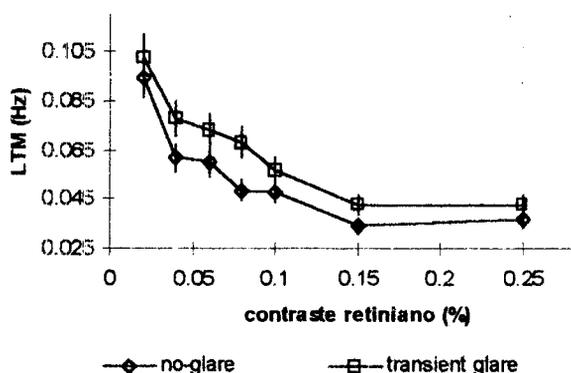


Figura 3a

Obs: PB - fs=4 c/grado

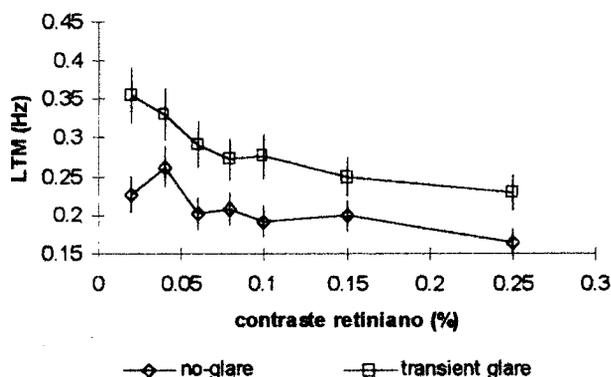


Figura 3b

se desplaza hacia arriba, respecto de la obtenida sin deslumbramiento, casi uniformemente. Es decir que el efecto es independiente del contraste retiniano.

Según la hipótesis que explicaría el incremento del LTM por la reducción del contraste retiniano, no deberían haberse encontrado diferencias entre ambas situaciones debido a que cada par de puntos fueron obtenidos con igual contraste retiniano. Por lo que este resultado fortalece la hipótesis del efecto transitorio.

Otra evidencia, en este mismo sentido, es que el incremento del LTM se mantiene constante en todo el rango de contrastes retinianos lo cual es consistente con que la pérdida de sensibilidad no depende del contraste sino del nivel de deslumbramiento y de sus características temporales.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugerirían que el incremento del LTM con el deslumbramiento se debe a la pérdida transitoria de sensibilidad producida por el encendido de la fuente deslumbrante y no a la reducción del contraste retiniano. Para iguales valores de deslumbramiento, en condiciones estable y transitoria, el efecto medido es diferente. Los resultados de este trabajo son consistentes con los obtenidos en mediciones de LTM en función del tiempo transcurrido entre el encendido de la fuente deslumbrante y la presentación del estímulo, que muestran que, para lapsos menores que 1 s, el LTM se normaliza tendiendo al obtenido en condiciones estables (Barraza y Colombo, 1999b).

REFERENCIAS

Barraza J F / Colombo E M, Glare influence on gratings motion detection under night driving conditions, Proceedings CIE 24thSession, Warsaw'99, vol. 1, 148-150 (1999*)
 Barraza J F / Colombo E M, Influencia del tiempo de adaptación sobre el umbral inferior de movimiento, Anales AFA, en prensa (1999b)
 Barraza J F / Colombo E M, Transient glare: its effect on the lower threshold of motion, Optics Express, 7,

172-177 (2000).

Bichao I C / Tager D / Meng J, Disability glare: effects of temporal characteristics of the glare source and visual field location, J. Opt. Soc. Am., A 12, 2252-2258 (1995).

Barraza J F / Issolio L A / Colombo E M, Deslumbramiento y evaluación de claridad en condiciones de alumbrado vial, Revista LUMINOTECNIA (AADL), vol. 6, 1-4 (1998)

Colombo E / Barraza J / Issolio L, Evaluation of transient glare in the scotopic-mesopic range, SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol 3749, 504-505 (1999)

Colombo E / Barraza J / Issolio L, The effect of brief exposure on brightness evaluation in the scotopic-mesopic range of adaptation, Lighting Research and Technology, en prensa (2000)

Cox M J / Derrington A M, The analysis of motion of two-dimensional patterns: do Fourier components provide the first stage?, Vision Research, 34, 59-72 (1994)

Macmillan N A / Douglas Greelman C, Detection theory: a user's guide, Cambridge University Press, Cambridge (1991).

Johnston A / Wright M J, Lower threshold of motion for gratings as a function of eccentricity and contrast, Vision Research, 25, 179-185 (1985).

Müller R / Greenlee M W, Effect of contrast and adaptation on the perception of the direction and speed of drifting gratings, Vision Research, 34, 2071-2092 (1994).

Nakayama K / Silverman G H, Detection and discrimination of sinusoidal gratings, J. Opt. Soc. Am., A 2, 267-274, (1985)

Shapley R M / Enroth-Cugell C, Visual adaptation and retinal gain controls, in Progress in Retinal Research, N. N. Osborne and G. J. Chader, eds., Pergamon Press, Oxford (1984).

Vos J J, Disability Glare - a state of the art report, CIE J., 3, 39-53 (1984).