

Deslumbramiento molesto en textiles: métricas basadas en efecto de saturación y/o contraste

Annoying glare in fabrics: metrics based on saturation and/or contrast effect

Julieta Yamin (*), Ayelén Villalba (**), Maureen de Gastines (**), Roberto Rodríguez (***), Andrea Pattini (****)

RESUMEN

Se evaluó el nivel de deslumbramiento producido por nueve textiles. Este tipo de sistema de sombreado muchas veces es comercializado sin una adecuada caracterización fotométrica, lo que conlleva a una aplicación inadecuada de los mismos, produciendo incrementos en las molestias visuales de los usuarios y mayores consumos de energía. Para evaluar el deslumbramiento, se calcularon cuatro métricas diferentes. Estas métricas están basadas en el efecto de saturación, contraste o ambas. Asimismo, se evaluó qué métricas conviene utilizar, si una específica a la condición lumínica predominante, una métrica general aplicable a todas las condiciones lumínicas o una combinación de ambas. En este estudio se observó que la métrica de contraste fue más sensible al deslumbramiento, pero la utilización de dos métricas de una manera aditiva ofrece una mejor jerarquización de los textiles. Como objetivo final se propone un sistema de puntuación para evaluar el comportamiento de textiles frente al deslumbramiento.

Palabras clave: iluminación natural; deslumbramiento; textiles; elementos de sombreado.

ABSTRACT

The level of glare produced by nine textiles was evaluated. This type of shading system is often marketed without an adequate photometric characterization, which leads to an inadequate application. This results in higher visual discomfort for users and higher energy consumption. In order to evaluate glare, four different metrics were calculated. These metrics are based on the effect of saturation, contrast or both. It was also evaluated which metric should be used: one specific to the prevailing light condition, a general metric applicable to all light conditions, or a combination of both. In this study it was observed that the contrast metric was more sensitive to glare, but the use of two metrics in an additive way provides a better ranking of textiles. As a final objective, a scoring system is proposed to evaluate the glare performance of textiles.

Keywords: daylight; glare; fabrics; shading systems.

(*) Dra. Medio Ambiente Visual e Iluminación eficiente. Investigadora Asistente. INAHE-Conicet, Mendoza (Argentina).

(**) Dra. en Ingeniería, mención Civil Ambiental. Becaria posdoctoral. INAHE-Conicet, Mendoza (Argentina).

(***) Dr. Medio Ambiente Visual e Iluminación eficiente. Investigador Adjunto. INAHE-Conicet, Mendoza (Argentina).

(****) Dra. Medio Ambiente Visual e Iluminación eficiente. Investigadora Principal. INAHE-Conicet, Mendoza (Argentina).

Persona de contacto: jyamin@mendoza-conicet.gob.ar (J. Yamin)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9322-2902> (J. Yamin); <https://orcid.org/0000-0002-6401-7085> (A. Villalba); <https://orcid.org/0000-0002-0357-9375> (M. de Gastines); <https://orcid.org/0000-0002-1839-9721> (R. Rodríguez); <https://orcid.org/0000-0001-6305-1268> (A. Pattini)

Cómo citar este artículo/Citation: Julieta Yamin, Ayelén Villalba, Maureen de Gastines, Roberto Rodríguez, Andrea Pattini (2023). Deslumbramiento molesto en textiles: métricas basadas en efecto de saturación y/o contraste. *Informes de la Construcción*, 75(569): e484. <https://doi.org/10.3989/ic.91757>

Copyright: © 2023 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 10/08/2021
Aceptado/Accepted: 05/08/2022
Publicado on-line/Published on-line: 01/03/2023

1. INTRODUCCIÓN

La ventana acompañada de un adecuado elemento de control solar puede ofrecer grandes beneficios a los usuarios tanto desde el punto de vista psicológico como energético (1). La visión al exterior (2), las mejoras en el funcionamiento del sistema circadiano (3) y la calidad de la composición espectral son algunos beneficios desde el punto de vista psicológico. Mientras que la reducción de energía eléctrica y la ventilación de un espacio son algunos de los beneficios desde una perspectiva energética.

Las cortinas textiles interiores son un elemento de sombreado muy utilizado, tanto a nivel local (Mendoza, Argentina) (4) como internacional, por su bajo costo y apariencia visual. La aplicación adecuada de las cortinas “roller” puede mejorar la calidad de la iluminación interior, reduciendo el deslumbramiento, y tiene el potencial de reducir el consumo de energía para iluminación, calefacción y refrigeración de los espacios interiores (5, 6). Evitar el deslumbramiento es uno de los mayores desafíos para lograr el confort visual y una barrera fundamental para el uso de la iluminación natural en oficinas (Shin et al., 2012). A lo largo de los años, numerosos estudios se han enfocado en el desarrollo de métricas que permiten cuantificar el deslumbramiento, como así también su capacidad de evaluar cortinas “roller” (1, 6, 7). Sin embargo, estos estudios suelen estar basados solamente en estudios de simulación (5), o están acotados a una sola dirección de visión del observador además de utilizar una sola métrica para la evaluación del deslumbramiento (1, 6, 7), cuando varios autores afirman que se necesita más de una métrica para cuantificar el deslumbramiento en presencia de luz solar directa (8, 9).

Dentro de los modelos de deslumbramiento encontramos, por un lado, el modelo de deslumbramiento con luz natural más validado internacionalmente que es el modelo denominado DGP (Daylight glare probability) [1] (8, 9, 10). Este modelo, a diferencia de las otras métricas existentes, incluye parámetros de contraste y saturación en la misma ecuación (11). El parámetro de contraste puede calcularse a partir de la relación entre la luminancia de fuente y la medida fotométrica de adaptación del ojo (luminancia de una tarea específica, Iluminancia vertical o luminancia de fondo); y el parámetro de saturación, es la cantidad de luz que llega a los ojos, en este caso la iluminancia vertical (Ev) (12). Sin embargo, un estudio específico realizado sobre textiles (13), mostró que el DGP tuvo una correlación elevada con la percepción de las personas, pero esta relación no fue lineal, posiblemente porque el DGP fue desarrollado experimentalmente sin elementos de sombreado textiles.

$$[1] \quad DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 0,092 \cdot \log \left(1 + \sum_i \frac{L_s^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^2 P_i^2} \right) + 0.16$$

Donde Ev es la iluminancia vertical a nivel de los ojos (lux), Ls es la luminancia de la fuente (cd/m²), ω es el ángulo sólido y P es el índice de posición de la fuente.

Por otro lado, otras métricas de deslumbramiento con buen desempeño (12) y que incluyen exclusivamente parámetros

de contraste son: el modelo CGI (Cie glare Index) [2] (14) y el modelo DGI (Daylight Glare Index) [3] (15), que sólo incluye relaciones de contraste y conviene utilizarse cuando la relación entre la luminancia de la fuente y la tarea es alta. Si bien sólo el DGI fue desarrollado para grandes fuentes y luz natural y el CGI fue desarrollado en condiciones de luz artificial, esta última ha sido validada en condiciones de luz natural (12).

$$[2] \quad CGI = 8 \cdot \log \left(2 \cdot \frac{1+(E_d/500)}{E_v} \sum_i \frac{L_s^2 \cdot \omega_{s,i}}{P_i^2} \right)$$

$$[3] \quad DGI = 10 \cdot \log \left(0.478 \sum_i \frac{L_s^{1.6} \cdot \omega_{s,i}^{0.8}}{L_b + 0,07 \cdot \omega_{s,i}^{0.5} \cdot L_{s,i}} \right)$$

Donde Ed es la iluminancia directa (lux), la Ev es la iluminancia vertical a nivel de los ojos (lux), Ls es la luminancia de la fuente (cd/m²), ω es el ángulo sólido, P es el índice de posición de la fuente y Lb es la Luminancia de fondo.

Por último, la métrica Iluminancia vertical a nivel de los ojos (Ev) es una métrica exclusivamente de saturación (10), que conviene utilizar cuando la iluminancia que llega al ojo es elevada (13).

La importancia de estas cuatro métricas es que la métrica DGP y Ev mostraron el mejor desempeño y robustez (puesto 1 y 2) en un estudio comparativo de métricas de deslumbramiento publicado por Jan Wienold (10). Ambas métricas fueron probadas en situaciones donde predominaba la saturación y no el contraste. Sin embargo, si bien el DGP incluye parámetros de saturación y contraste en su ecuación, un estudio mostró que el modelo DGP está influenciado principalmente por el primer término de la ecuación (Ev) y su peso relativo en la ecuación no está claro, especialmente en los casos en que el segundo término (contraste) se vuelve significativo (13). Por este motivo es importante utilizar métricas de contraste independientemente del DGP (como CGI y DGI) que si bien ocupan lugares más abajo en el ranking del estudio (10) (ambas en el puesto 10) mostraron un buen desempeño en varios estudios (1, 16). El hecho de que no ocuparon un puesto importante en el estudio de cross-validación se debe a que dominaban las situaciones de saturación y no de contraste en dicho estudio.

Es importante destacar que además de las relaciones de saturación y contraste existen varios factores que podrían influir en la sensación de deslumbramiento y todavía no están bien identificados (17). Debido a la complejidad del concepto de confort visual es imposible encontrar una métrica global de deslumbramiento aplicable a todas las condiciones lumínicas (16).

En este trabajo se analiza qué métrica de deslumbramiento es preferible utilizar para evaluar el efecto de los textiles tipo “roller” sobre este parámetro. Se analiza, por un lado, la posibilidad de utilizar una métrica global (DGP) que incluya ambos factores de saturación y contraste en la ecuación. Por otro lado, utilizar una métrica específica a la situación lumínica predominante. Es decir, usar una

métrica de saturación (E_v) si prima la cantidad de luz que llega a los ojos o una de métrica de contraste (CGI y DGI) si prima el alto contraste entre la luminancia de la fuente y la tarea. Como tercera opción se propone utilizar más de una métrica. Por último, una vez seleccionado el método más apropiado, se evalúa el deslumbramiento en los textiles seleccionados. El objetivo final es proponer un sistema de puntuación para seleccionar textiles.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Selección de textiles

Las principales propiedades ópticas que caracterizan a los tejidos de sombreado son el factor de apertura (OF) y el color. El OF es un indicador de la densidad del tejido y de la transmisión de la luz directa, mientras que el color tiene una fuerte influencia en la transmitancia visible del tejido, dada por las múltiples reflexiones entre las fibras (18). De acuerdo a este criterio y considerando los tejidos que reportaron el mayor volumen de ventas durante el último año en el mercado local se seleccionaron nueve textiles. Las propiedades ópticas de los textiles se encuentran detallados en la Tabla 1. La transmitancia visible (T_v) es el porcentaje de luz visible que se transmite a través del tejido y la reflectancia visible (R_v) es la fracción de la luz incidente que es reflejada por el tejido.

Tabla 1. Propiedades de los textiles seleccionados.

Código	Imagen	Color de la fibra	OF (%)	T_v	R_v
4301		Blanco-blanco	3	0.20	0.73
4001		Blanco-blanco	5	0.24	0.72
3006		Blanco-blanco	14	0.28	0.69
4308		Blanco con gris	3	0.10	0.50
9808		Gris-gris	5	0.17	0.53
3008		Blanco con gris	14	0.25	0.44
2007		Blanco con gris	5	0.11	0.37
3009		Negro con gris	14	0.17	0.08
2004		Negro	5	0.07	0.05

2.2. Laboratorio de ensayos fotométricos

Los 9 textiles fueron evaluados en condiciones de luz natural con cielo claro en el Laboratorio de Ensayos Fotométricos ubicado en el CCT-Conicet Mendoza-Argentina (Figura 1). Este laboratorio cuenta con dos salas experimentales de iguales dimensiones (Figura 2). Ambas



Figura 1. Exterior del Laboratorio de Ensayos Fotométricos.

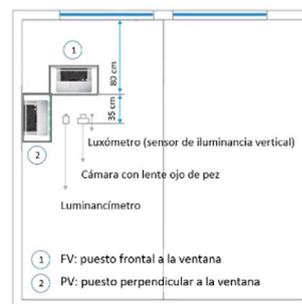


Figura 2. Ubicación de los puestos de trabajo e instrumentos de medición.



Figura 3. Foto de los puestos de trabajo e instrumentos de medición.

salas tienen una ventana de 1m x 1m donde se colocaron los textiles evaluados. En este estudio se utilizó sólo una sala (Figura 3). La descripción física del Laboratorio experimental se encuentra detallado en (7).

Se evaluaron dos puestos de trabajo (Figura 3-4), el primero ubicado frente a la ventana (FV), este se consideró como el puesto más crítico posible por tener el disco solar en el campo de visión central. Estas condiciones pueden encontrarse en escenarios reales (19). El segundo puesto, ubicado perpendicular a la ventana (PV) y sin el disco solar presente en el campo de visión se consideró como el puesto menos crítico. En este puesto había presencia de manchas de sol o reflejos en el campo de visión del observador. También se evaluaron los dos puestos de trabajo FV y PV sin elemento de sombreado para tener un escenario control.

El experimento se llevó a cabo durante los meses de abril y mayo de 2019 de 9:00 a 13:00 (período con presencia de luz directa en el recinto a evaluar).

2.3. Deslumbramiento y contraste de luminancias

El deslumbramiento y el contraste de luminancias fue calculado mediante imágenes de alto rango dinámico (HDR),

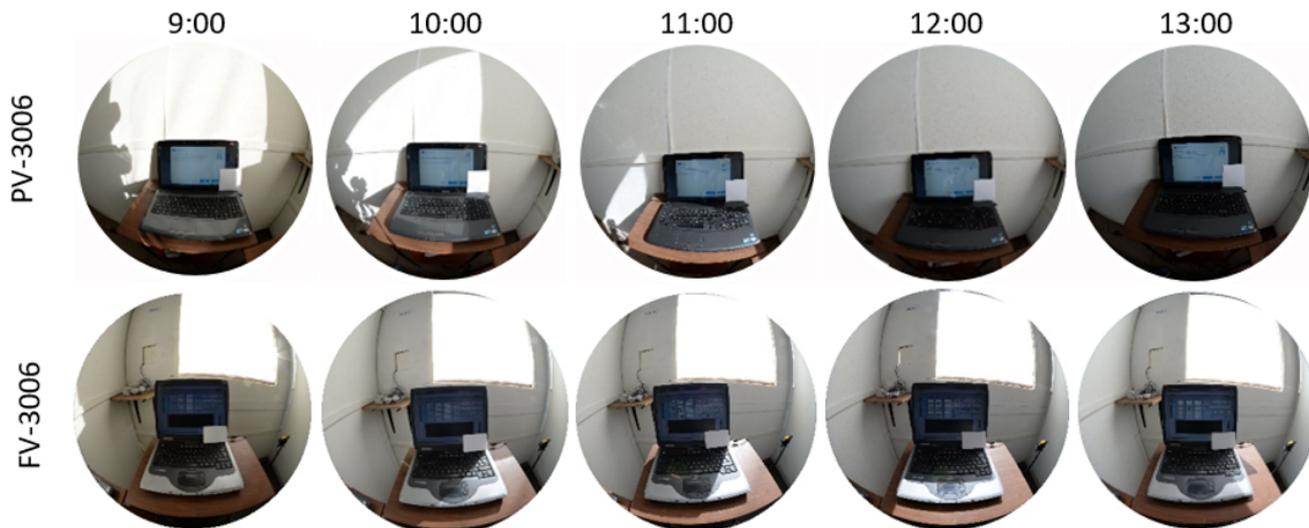


Figura 4. Imágenes de los puestos de trabajo evaluados en las distintas horas del día.

las cuales están compuestas por alrededor de 8-12 imágenes de bajo rango dinámico (LDR). Estas LDR fueron tomadas con una cámara Nikon D610 con un lente ojo de pez (Sigma 8 mm 1:3.5). La cámara estuvo montada en un trípode a 1.2 m de altura apuntando al centro de la pantalla, simulando la visión del ocupante. El procedimiento de selección y creación de las HDR se encuentra detallado en (7). Una vez calibradas las HDR con el luminancímetro y validadas con el luxómetro, mediante el programa Evalglare 1.21 (20) se calcularon las cuatro métricas de deslumbramiento (Tabla 2). Se analizan dos métricas de contraste para comprobar cuál es más sensible.

Tabla 2. Valores de corte de las métricas seleccionadas (12). El umbral de deslumbramiento-no deslumbramiento se encuentra en la categoría Notable – Perturbador.

	Métrica	Imperceptible -Notable	Notable – Perturbador	Perturbador -Intolerable
Contraste saturación	DGP	0.34	0.38	0.45
Contraste 1	CGI	28.7	31.0	34.8
Contraste 2	DGI	19	19.9	22.4
Saturación	Ev	2484	3359	4384

Se calculó el contraste de luminancias, mediante la relación entre la luminancia de la tarea (LT) y la luminancia de la fuente (LF). Esta relación no debe ser mayor a 1:20 (21). Tanto la LT como la LF son calculadas con el programa

Evalglare. En la tabla 3 se observa cómo se calcula esta relación para el textil 4308 a las 9:00 horas.

Tabla 3. Cálculo de contraste. Ej.: textil 4308.

Textil	Hora	LF	LT	Contraste (LT:LF)
4308	09:00	2689	34	1:79,08

2.4. Asignación de puntaje: nivel de deslumbramiento

La tabla 4 muestra la metodología utilizada para calcular el nivel de deslumbramiento de los textiles. Se toma como ejemplo el textil 2007 (puesto FV).

En la tabla 4 apartado 1 se pueden observar los valores continuos de las cuatro métricas de deslumbramiento (DGP, CGI, DGI y Ev). Posteriormente estos valores continuos se convirtieron en valores ordinales (1-Imperceptible 2-Notable 3-Perturbador y 4-Intolerable) (Tabla 4 apartado 2) a partir de los valores de corte establecidos en (12) que se detallan en la tabla 2. El siguiente paso fue recodificar los valores ordinales en valores dicotómicos considerando el siguiente criterio: Los valores de deslumbramiento imperceptible (1) y notable (2) se definieron como “Ausencia de deslumbramiento =0” y los valores de deslumbramiento perturbador (3) e intolerable (4) como “Presencia de deslumbramiento =1” (Tabla 4 apartado 3). Estas puntuaciones se obtuvieron por hora y de la sumatoria de estos valores se obtiene la puntuación final del textil.

Tabla 4. 1- Valores continuos de deslumbramiento. 2-Valores ordinales. 3-Valores dicotómicos. Suma: sumatoria de las variables dicotómicas por hora.

2007	1				2				3			
	DGP	CGI	DGI	Ev	DGP	CGI	DGI	Ev	DGP	CGI	DGI	Ev
9:00	0,17	7,59	1,5	296	1	1	1	1	0	0	0	0
10:00	0,41	43,24	20,25	1222	3	4	3	1	1	1	1	0
11:00	0,42	43,98	19,8	1175	3	4	2	1	1	1	0	0
12:00	0,37	39	18,15	783	2	4	1	1	0	1	0	0
13:00	0,17	2,43	7,7	342	1	1	1	1	0	0	0	0
Puntuación por métrica									2	3	1	0
Puntuación final									6			

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Situación lumínica predominante: Contraste o saturación

El primer paso en este estudio fue determinar qué situación lumínica es predominante en el espacio, si el contraste o la saturación. Este análisis se realizó por puesto de trabajo.

Puesto FV: Por un lado, considerando los escenarios con textiles, en el 100% de las condiciones lumínicas se registraron valores de contraste entre la fuente y la tarea mayores a 1:20. Mientras que la Ev que llega al ojo (saturación) fue en el 86.3% de los casos menor a 3359 lx (Umbral de deslumbramiento a partir de la Ev)(12). Sólo en un 13.3% de los casos predominaron situaciones de saturación, estos casos fueron: 4001-10:00, 3006-10:00, 3008-10:00/11:00 y 3009-10:00/11:00. Si bien fue predominante el contraste frente a la saturación, como hubo un 13.3% de situaciones donde también predominaba la saturación, se consideró más apropiado utilizar las cuatro métricas para poder compararlas entre sí. Por otro lado, en el escenario sin control se registraron situaciones de altos contrastes y saturación en todo el período evaluado.

Puesto PV: Por un lado, considerando los escenarios con textiles, en el 100% de las condiciones lumínicas se registraron valores de saturación menores a 3359 lx mientras que las relaciones de contraste fueron mayores a 1:20 sólo en el 8.8% de los casos, estos textiles fueron el 3008 (gris-blanco) y 3006 (blanco-blanco) a las 9:00 y 10:00. Es importante considerar que estos dos textiles presentan una combinación de propiedades ópticas que propician esta condición. Por un lado, valores de Tv de entre un 25 y un 28% y, por otro lado, un OF de 14, lo que implica que el 14% de la radiación solar directa que impacta sobre el tejido ingresa sin interferencia al espacio interior. En el escenario 3009, la relación de contraste es inferior a 1:20 debido a que el color oscuro del tejido disminuye la transmitancia visible del mismo (3%) compensando el efecto del elevado OF (14%). En el 91.2% de los casos restantes no hubo altos contrastes entre la fuente y la tarea. Por otro lado, respecto al escenario sin control, se registraron situaciones de altos contrastes y saturación sólo entre las 9:00 y las 10:00.

Como los dos puestos muestran características fotométricas muy diferentes, el análisis de los mismos se realiza por separado.

3.2. Deslumbramiento

La tabla 5 (puesto FV) y la tabla 6 (puesto PV) muestran los valores de deslumbramiento dicotómico (Ev, CGI, DGI y DGP) para los 9 textiles y sin control solar por hora, como así también el puntaje final que estas métricas le asignan al textil. A partir de los valores de las tablas 3 y 4 se calculó el nivel de coincidencia de las 4 métricas de deslumbramiento y se propuso una metodología para la selección del mejor textil frente al deslumbramiento.

Tabla 5. Deslumbramiento dicotómico de los 9 textiles y sin control correspondiente al puesto FV. Los textiles 2007 y 2004 tienen el mismo puntaje al igual que los textiles 3006 y 3009. Los casilleros resaltados en rojo indican presencia de deslumbramiento.

		09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	SUMA
4308	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	1	0	0	0	1
	DGI	0	1	0	0	0	1
	DGP	0	1	0	0	0	1
2007 2004	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	1	1	1	0	3
	DGI	0	1	0	0	0	1
	DGP	0	1	1	0	0	2
9808	Ev	0	0	1	0	0	1
	CGI	0	1	1	0	0	2
	DGI	0	1	1	0	0	2
	DGP	0	1	1	0	0	2
4301	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	1	1	1	0	0	3
	DGI	1	1	1	0	0	3
	DGP	1	1	1	0	0	3
4001	Ev	1	1	1	0	0	3
	CGI	1	1	1	0	0	3
	DGI	1	1	1	0	0	3
	DGP	1	1	1	0	0	3
3006 3009	Ev	0	1	1	1	0	3
	CGI	0	1	1	1	0	3
	DGI	0	1	1	1	0	3
	DGP	0	1	1	1	0	3
3008	Ev	1	1	1	1	0	4
	CGI	1	1	1	1	0	4
	DGI	1	1	1	1	0	4
	DGP	1	1	1	1	0	4
S/C	Ev	1	1	1	1	1	5
	CGI	1	1	1	1	1	5
	DGI	1	1	1	1	1	5
	DGP	1	1	1	1	1	5

Tabla 6. Deslumbramiento dicotómico de los 9 textiles y sin control correspondiente al puesto PV. Textiles*: 4308, 2004, 2007, 9808, 4301, 4001, 3009.

		09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	SUMA
Textiles*	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	0	0	0	0	0
	DGI	0	0	0	0	0	0
	DGP	0	0	0	0	0	0
3008-3006	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	1	0	0	0	1
	DGI	0	0	0	0	0	0
S/C	DGP	0	0	0	0	0	0
	Ev	1	1	0	0	0	2
	CGI	1	1	0	0	0	2
	DGI	1	0	0	0	0	1
DGP	1	1	0	0	0	2	

3.3. Coincidencia entre las métricas de deslumbramiento

El grado de coincidencia de las cuatro métricas se evaluó de acuerdo al puesto de trabajo.

Respecto al puesto FV, en la tabla 7 se observa a la izquierda, el acuerdo total entre métricas, presentándose dos casos: que las cuatro métricas coincidan en términos de ausencia (0= Ninguna métrica predijo deslumbramiento) y presencia de deslumbramiento (4 = Las cuatro métricas predijeron deslumbramiento). A la derecha se observa el acuerdo parcial entre métricas (3 = Tres métricas predijeron deslumbramiento) (2 = Dos métricas predijeron deslumbramiento) y (1= Una métrica predijo deslumbramiento).

Tabla 7. Resultados de coincidencias: las cuatro métricas predijeron ausencia (0) /presencia (4) de deslumbramiento; una (1), dos (2) o tres (3) métricas predijeron deslumbramiento en el puesto FV.

Número de veces que coinciden las 4 métricas		Número de veces que coinciden 1, 2 y 3 métricas		
0	4	1	2	3
20 (40%)	19 (38%)	2 (4%)	2 (4%)	7 (14%)
39 (78%)		11 (22%)		
Total 50 / 100%				

Las cuatro métricas coincidieron en la predicción de ausencia (0) o presencia (4) de deslumbramiento un 78% de los casos. Del resto de los casos analizados, tres métricas -DGP, CGI y DGI- coincidieron en la cuantificación del deslumbramiento en un 14% de los casos (4308, 2007, 2004 y 9808 a las 10:00 a.m. y 4301 de 9:00 a.m. a 11:00 a.m.). Sólo dos métricas -DGP y CGI- predijeron deslumbramiento en los textiles 2007 y 2004 a las 11:00 (4% de los casos). Mientras que sólo una métrica predijo deslumbramiento en el 4% de los casos restantes, esta métrica fue el CGI y predijo deslumbramiento en los textiles 2007 y 2004 a las 12:00.

A partir de lo expuesto en el párrafo anterior se pone en evidencia que la métrica CGI fue la más sensible al deslumbramiento en situaciones de altos contrastes, siguiendo la métrica DGP también con una alta sensibilidad, luego la métrica DGI y por último la métrica Ev que mostró la menor sensibilidad para cuantificar deslumbramiento, por lo que no es recomendada para utilizarse en estas condiciones lumínicas. Es importante destacar que la métrica CGI mostró mayor sensibilidad que la métrica DGI a pesar de que esta última fue desarrollada para grandes fuentes y luz natural mientras que la métrica CGI fue desarrollada para fuentes pequeñas en retícula y luz artificial. Por último, se destaca que en los textiles intermedios (gris con blanco) y oscuros (negro) con factores de abertura reducido- intermedios (5) y con las Tv bajas 2007=0.11 / 2004=0.07, las métricas Ev y DGI no pudieron cuantificar el deslumbramiento.

Respecto al puesto PV en la tabla 8 se observa el grado de coincidencia de las cuatro métricas.

El número de veces que las cuatro métricas coincidieron en la predicción de ausencia (0) y presencia (4) de deslumbramiento fue del 92%. Sólo tres métricas coincidieron en

Tabla 8. Resultados de coincidencias: las cuatro métricas predijeron ausencia (0) /presencia (4) de deslumbramiento; una (1), dos (2) o tres (3) métricas predijeron deslumbramiento en el puesto PV.

Número de veces que coinciden las 4 métricas		Número de veces que coinciden 1, 2 y 3 métricas		
0	4	1	2	3
46 (92%)	1 (2%)	2 (4%)	0 (0%)	1 (2%)
47 (92%)		3 (6%)		
Total 50 / 100%				

cuantificar el deslumbramiento en un 2% de casos, estas métricas fueron el DGP, CGI y Ev. La métrica CGI predijo deslumbramiento en los textiles 3008 y 3006 a las 10:00 a.m. (4% de casos).

En este puesto, al igual que en el puesto FV, la métrica CGI fue la más sensible al deslumbramiento en situaciones con altos contrastes. Estas situaciones fueron generadas por los textiles intermedios y claros 3008 y 3006 con las Tv más altas 3006=0.28 y 3008=0.25 y valores de OF de 14%, donde las métricas restantes Ev, DGI y DGP no pudieron detectar el deslumbramiento.

3.4. Propuesta metodológica para la selección del textil con mejor desempeño frente al deslumbramiento

A partir del análisis de la sección anterior se utilizan dos criterios para puntuar los textiles. El primer criterio es utilizar sólo la métrica CGI por ser la métrica más sensible en las condiciones lumínicas evaluadas (altos contrastes) y el segundo criterio es sumar las puntuaciones de la métrica CGI y DGP, ya que esta última también mostró alta sensibilidad y además tiene la capacidad de evaluar contraste y saturación. La tabla 9 muestra las puntuaciones por textil para el puesto FV, la tabla 10 las puntuaciones para el puesto PV y la tabla 11 muestra la puntuación final por textil a través de la suma de las puntuaciones de ambos puestos FV y PV.

Respecto al control del deslumbramiento de los textiles en el puesto FV (Tabla 9), los textiles que obtuvieron el mejor puntaje utilizando ambos criterios (CGI y CGI+DGP) fueron: Primero el textil 4308 con deslumbramiento molesto sólo a las 10:00 horas. Este textil es de un color intermedio (gris y blanco), presenta un OF de 3% y una Tv de 10%. El segundo textil mejor puntuado fue el 9808 registrando deslumbramiento molesto a las 10:00 a.m. y 11:00 a.m. horas. El tejido 9808 es de color gris, presenta un OF de 5% y una Tv de 17%. En tercer lugar, se encuentran los textiles 2007, 2004, 4301, 4001, 3006 y 3009 según el criterio CGI, sin embargo, si utilizamos el segundo criterio (CGI+DGP), sobresalen los textiles 2007 y 2004 obteniendo una mejor puntuación.

Respecto al control del deslumbramiento de los textiles en el puesto PV (Tabla 10), los textiles que obtuvieron el mejor puntaje utilizando ambos criterios (CGI y CGI+DGP) fueron el 4308, 9808, 2007, 2004, 4301,4001, 3009. Con el uso de estos siete textiles no se registró deslumbramiento molesto en todo el período de medición. Por último, en los textiles 3006 y 3008, sí se registró deslumbramiento a las 10:00.

Respecto a la puntuación final de los textiles (Tabla 11), se puede observar una mejor jerarquización de los mismos. Esta jerarquización se ve mejorada aún más utilizando el segundo criterio de puntuación (CGI +DGP), que permi-

Tabla 9. Puntuaciones de deslumbramiento para puesto FV.

FV	4308	9808	2007	2004	4301	4001	3006	3009	3008	S/C
CGI	1	2	3	3	3	3	3	3	4	5
CGI+DGP	2	4	5	5	6	6	6	6	8	10

Tabla 10. Puntuaciones de deslumbramiento para puesto PV.

PV	4308	9808	2007	2004	4301	4001	3009	3006	3008	S/C
CGI	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
CGI+DGP	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4

Tabla 11. Puntuaciones de deslumbramiento final.

FV+PV	4308	9808	2007	2004	4301	4001	3009	3006	3008	S/C
CGI	1	2	3	3	3	3	3	4	5	7
CGI+DGP	2	4	5	5	6	6	6	7	9	14

Tabla 12. Puntuaciones de deslumbramiento final.

Código	Imagen	Color de la fibra	OF(%)	Tv	Rv	Puntuación textil (CGI+DGP)
4308		Blanco con gris	3	0.10	0.50	2
9808		Gris-gris	5	0.17	0.53	4
2007		Blanco con gris	5	0.11	0.37	5
2004		Negro	5	0.07	0.05	5
4301		Blanco-blanco	3	0.20	0.73	6
4001		Blanco-blanco	5	0.24	0.72	6
3009		Negro con gris	14	0.17	0.08	6
3006		Blanco-blanco	14	0.28	0.69	7
3008		Blanco con gris	14	0.25	0.44	9

te una diferenciación más detallada del comportamiento respecto al deslumbramiento de los textiles. De esta manera podemos observar que el mejor textil es el 4308, en segundo lugar, el 9808, en tercer lugar, el 2007 y 2004, en cuarto lugar, los textiles 4301, 4001 y 3009, en quinto el 3006 y en sexto lugar el 3008. Por último, en la tabla 12 se ordenan los textiles de acuerdo al criterio de puntuación (CGI+DGP) conjuntamente con sus propiedades (OF, Color, Tv, Rv). Donde se observa que menores valores de Tv y OF están asociados a menores valores de deslumbramiento y que la correlación (Pearson) entre la puntuación de deslumbramiento y el OF ($r=0.71$, $p=0.032$) y la Tv ($r=0.72$, $p=0.028$) fue elevada y significativa, mientras que la relación con la Rv ($r=0.09$, $p=0.81$) y el color ($\rho=0.35$, $p=0.35$) fue baja y no significativa.

3.5. Limitaciones de este trabajo

Es importante mencionar algunas limitaciones que presenta el trabajo desarrollado y su impacto sobre los resultados obtenidos. Por un lado, en futuros trabajo se prevé repetir las mediciones tanto en solsticios como en equinoccios para

tener un monitoreo completo de las condiciones de iluminación anuales. Asimismo, es fundamental repetir este estudio para otras orientaciones de fachada debido a que esto también modifica las condiciones de iluminación a la que estará expuesto el espacio. Por otro lado, si bien se evaluaron dos posiciones del puesto de trabajo muy diferentes, en futuros trabajos se debería incluir una tercera posición de puesto de trabajo, es decir una posición intermedia en donde el disco solar esté presente en el campo de visión periférico. Otro aspecto a incluir en futuros estudios son mediciones subjetivas de las personas.

4. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y técnicas (CONICET). Se agradece a Raúl Mercado (técnico principal CONICET) por ayudarnos con las mediciones de los textiles y a la empresa Dino Conte por proveer las muestras de cortinas roller para este estudio. Proyectos: ANPCYT: PICT-2018-03269; PICT-2017-1088; PICT-2018-02080; PICT-2019-04356.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue, por un lado, conocer qué métrica es más sensible al deslumbramiento en las situaciones evaluadas (escenas donde predominó el contraste) y por otro lado, evaluar el deslumbramiento en los textiles con las métricas más apropiadas. De acuerdo a esta finalidad se evaluaron 9 textiles de diferentes propiedades (Color, OF, Tv, Rv) en dos configuraciones del puesto de trabajo, un puesto frontal a la ventana y otro perpendicular a la misma. El primer puesto fue considerado el más crítico desde el punto de vista del confort visual por tener presencia del disco solar en el campo de visión del observador. El segundo puesto con menor criticidad por no tener visión directa al disco solar, pero sí presentar manchas de luz en el campo de visión central.

Se evaluó el deslumbramiento en estos dos puestos mediante cuatro métricas (DGP, CGI, DGI y Ev). Estos modelos fueron seleccionados según la naturaleza de los mismos. Es decir, si

son sensibles a situaciones de altos contraste como el modelo CGI y DGI, o a situaciones con altos niveles de iluminancia a nivel de los ojos (saturación) como la métrica Ev, o a ambas situaciones como el modelo DGP.

Finalmente, se propone una metodología novedosa para la selección de cortinas “roller” de acuerdo a su desempeño frente al deslumbramiento. La cuál involucra el uso combinado de dos métricas de deslumbramiento: CGI+DGP. Este tipo de metodología que consiste en utilizar dos métricas de manera aditiva y priorizando la condición lumínica predominante (contraste o saturación) no ha sido empleada en otros estudios en la evaluación de textiles. Además, la incorporación de una segunda dirección de visión hacia la fuente de deslumbramiento (perpendicular a la misma) si bien es menos crítica, es más representativa de una dirección de visión que elegiría el observador. Del análisis de estos resultados se obtiene un nivel de jerarquía de 7 niveles lo que le da al consumidor del textil una mayor gama de posibilidades a la hora de seleccionar un textil.

REFERENCIAS

- (1) Konstantzos, I., Tzempelikos, A. (2017). Daylight glare evaluation with the sun in the field of view through window shades. *Build Environ.* 113, 65–77.
- (2) Tuaycharoen, N. (2011). Windows are less glaring when there is a preferred view. *Og(01)*, 45–55.
- (3) Webb, A.R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy Build.* 38(7), 721–7.
- (4) Villalba, A.M., Pattini, A.E., Córlica, M.L. (2012). Análisis de las características morfológicas de las envolventes edilicias y del entorno urbano desde la perspectiva de la iluminación natural. *Ambient Construído.* 12(4), 159–75.
- (5) Tzempelikos, A., Shen, H. (2013). Comparative control strategies for roller shades with respect to daylighting and energy performance. *Build Environ.* 67, 179–92.
- (6) Konstantzos, I., Tzempelikos, A., Chan, Y.C. (2015). Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. *Build Environ.* 87, 244–54.
- (7) Yamin Garreton, J., Villalba, A.M., Rodríguez, R.G., Pattini, A. (2021). Roller blinds characterization assessing discomfort glare, view outside and useful daylight illuminance with the sun in the field of view. *Sol Energy.* 213, 91–101.
- (8) Jakubiec, J.A., Reinhart, C.F. (2016). A concept for predicting occupants' long-term visual comfort within daylit spaces. *Leukos.* 12(4), 185–202.
- (9) Van Den Wymelenberg, K.G. (2014). Visual comfort, discomfort glare, and occupant fenestration control: Developing a research agenda. *Leukos* [Internet]. 2014 Aug 8 [cited 2015 Dec 4]. 10(4), 207–21. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15502724.2014.939004>.
- (10) Wienold, J., Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy Build.* 38(7), 743–57.
- (11) Wienold, J. (2009). Daylight glare in offices PhD thesis. Universität Karlsruhe.
- (12) Wienold, J., Iwata, T., Sarey-Khanie, M., Erell, E., Kaftan, E., Rodriguez, R.G., et al. (2019). Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. *Light Res. Technol.* 51(7).
- (13) Konstantzos, I., Tzempelikos, A. (2014). Daylight glare probability measurements and correlation with indoor illuminances in a full-scale office with dynamic shading controls.
- (14) Einhorn, H.D. (1979). Discomfort glare: a formula to bridge differences. *Light Res Technol.* 11(2), 90–4.
- (15) Hopkinson, R.G., Collins, J.B. (1963). The prediction and avoidance of glare in interior lighting. *Ergonomics.* 6(4), 379–83.
- (16) Shafavi, N.S., Zomorodian, Z.S., Tahsildoost, M., Javadi, M. (2020). Occupants visual comfort assessments: A review of field studies and lab experiments. *Sol Energy.* 208, 249–74.
- (17) Pierson, C., Wienold, J., Bodart, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: influencing factors. *Energy Procedia.* 122, 331–6.
- (18) Kotey, N.A., Wright, J.L., Collins, M.R. (2009). Determining off-normal solar optical properties of roller blinds.
- (19) Yamin Garretón, J.A., Colombo, E.M., Pattini, A.E. (2018). A global evaluation of discomfort glare metrics in real office spaces with presence of direct sunlight. *Energy Build.* 166.
- (20) Wienold, J. Evalglare (version v1.22). 2015. p. 1–4.
- (21) DiLaura, D.L., Houser, K.W., Mistrick, R.G. (2011). The lighting handbook reference and application. The lighting handbook reference and application. New York (NY): Illuminating Engineering Society of North America. 1328 p. Illuminating Engineering Society of North America New York (NY). 1328.