DESLUMBRAMIENTO MOLESTO EN TEXTILES: MÉTRICAS BASADAS EN EFECTO DE SATURACIÓN Y/O CONTRASTE

Julieta Yamin Garretón (1); Ayelén Villalba (2); Roberto Rodriguez (3), Andrea Pattini (4); Raúl Mercado (5)

(1) PhD, Investigadora asistente CONICET, jyamin@mendoza-conicet.gob.ar INAHE-CONICET.
(2) PhD, Investigadora asistente CONICET, avillalba@mendoza-conicet.gob.ar INAHE-CONICET.
(3) PhD, Investigador adjunto CONICET, rgrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar INAHE-CONICET.
(4) PhD, Investigadora principal CONICET, apattini@mendoza-conicet.gob.ar INAHE-CONICET.
(5) Técnico principal CONICET hmercado@mendoza-conicet.gob.ar INAHE-CONICET.
(54) 0261 524-4000

RESUMEN

Se evaluó el nivel de deslumbramiento producido por seis textiles diferentes. Este tipo de sistema de sombreado es comercializado sin una adecuada caracterización fotométrica, lo que conlleva a una aplicación inadecuada de los mismos. Para evaluar el deslumbramiento, se calcularon tres métricas a través de la técnica HDR. Estas métricas son: Iluminancia Vertical a Nivel de los Ojos (Ev), Índice de Deslumbramiento de la CIE (CGI) y Probabilidad de Deslumbramiento con Luz Natural (DGP) y están basadas en el efecto de saturación (Ev), contraste (CGI) o ambas (DGP). Asimismo, se evaluó qué métricas conviene utilizar, si una específica a la condición lumínica predominante o una métrica general aplicable a todas las condiciones lumínicas. En este estudio se observó que la métrica exclusivamente de contraste (CGI) fue más sensible que una métrica general (DGP). Asimismo, se observó que sólo un textil se destacó en cuanto al control de deslumbramiento: El 4308.

Palabras clave: Iluminación Natural, Deslumbramiento, Elementos de Sombreado, Textiles.

ABSTRACT

The level of glare produced by six different textiles was evaluated. This type of shading system is marketed without an adequate photometric characterization, which leads to an inappropriate application of them. In order to evaluate glare, three metrics were calculated through the HDR image technique. These metrics are: Vertical Illuminance at Eye Level (Ev), Cie Glare Index (CGI) and Daylight Glare Probability (DGP). These metrics are based on the saturation effect (Ev), contrast (CGI) or both (DGP). Likewise, it was evaluated which metrics should be used, whether one specific to the predominant light condition or a general metric applicable to all lighting conditions. In this study, it was observed that the exclusively contrast metric (CGI) was more sensitive than a general metric (DGP). Likewise, it was observed that only one fabric was the best in terms of glare control: The 4308.

Keywords: Daylight, Glare, Shading system, Fabrics

1. INTRODUCCIÓN

La ventana acompañada de un adecuado elemento de control solar puede ofrecer grandes beneficios a los usuarios desde el punto de vista psicológico como energético (KONSTANTZOS & TZEMPELIKOS, 2017). La visión al exterior (TUAYCHAROEN, 2011), las mejoras en el funcionamiento del sistema circadiano (WEBB, 2006) 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 el punto de vista energético.

Las cortinas textiles interiores son un elemento de sombreado muy utilizado tanto a nivel local (Mendoza, Argentina) (VILLALBA ET AL., 2012) como internacional para evitar el deslumbramiento. Gran cantidad de estudios se han focalizado en el desempeño de las cortinas "Roller", analizando principalmente el deslumbramiento (KONSTANTZOS ET AL., 2015; KONSTANTZOS & TZEMPELIKOS, 2017; YAMIN GARRETON ET AL., 2021).

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). El deslumbramiento se define como luminancias dentro del campo visual mayores a las que el sistema visual puede procesar (DILAURA ET AL., 2010). A lo largo de los años, numerosos estudios se han enfocado en el desarrollo de métricas o índices que permiten evaluar y predecir con precisión el deslumbramiento. El modelo de deslumbramiento con luz natural más validado internacionalmente es el modelo denominado Probabilidad de Deslumbramiento con Luz Natural DGP (siglas en inglés Daylight Glare Probability) (WIENOLD & CHRISTOFFERSEN, 2006; WIENOLD, 2009). Este modelo a diferencia de las otras métricas incluye parámetros de contraste y saturación en la misma ecuación. El parámetro de contraste es la relación entre la luminancia de fuente y de la tarea; y el parámetro de saturación, es cantidad de luz que llega a los ojos, en este caso la iluminancia vertical (WIENOLD ET AL., 2019). Otras métricas de deslumbramiento con buen desempeño (WIENOLD ET AL., 2019) y que incluyen exclusivamente parámetros de contraste o saturación son: El modelo CGI (siglas en inglés Cie Glare Index) que sólo incluye relaciones de contraste (EINHORN, 1979) y conviene utilizarse cuando la relación entre la luminancia de la fuente y la tarea es alta; y la métrica Iluminancia Vertical a nivel de los ojos (Ev) que es una métrica exclusivamente de saturación (WIENOLD & CHRISTOFFERSEN, 2006) que conviene utilizarse cuando la iluminancia que llega al ojo es elevada.

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 (PIERSON ET AL., 2017). Debido a la complejidad del concepto de confort visual es imposible encontrar una métrica global de deslumbramiento aplicable a todas las condiciones lumínicas (SHAFAVI ET AL., 2020) por lo que algunos autores sostienen que encontrar métricas para cada situación particular parece ser la solución más viable (HIRNING ET AL., 2017; SHAFAVI ET AL., 2020).

2. OBJETIVO

En este trabajo se analiza que métrica de deslumbramiento es preferible utilizar para evaluar textiles tipo "Roller". Por un lado, utilizar una métrica global (DGP) que incluya ambos factores de saturación y contraste en la ecuación. O utilizar una métrica específica a la situación lumínica predominante. Es decir, usar una métrica de saturación (Ev) si prima la cantidad de luz que llega a los ojos o una de métrica de contraste (CGI) si prima el alto contraste entre la luminancia de la fuente y la tarea. Por último, una vez seleccionada la métrica más apropiada se evalúa el deslumbramiento en los textiles seleccionados.

3. MÉTODO

3.1. Selección de textiles

Se seleccionaron seis textiles. La selección se basó en la diversidad de sus propiedades físicas (peso, material, color, factor de apertura (OF) y transmitancia visible (TV). Los textiles se encuentran detallados en la Tabla 1. Estos 6 textiles fueron preseleccionados de una muestra mayor de 9 textiles. Se removieron los textiles con OF>14% ya que en estos textiles no son recomendados para evitar el deslumbramiento (YAMIN GARRETON ET AL., 2021). Los mismos fueron evaluados de 09:00 a 13:00, período con presencia de luz directa en el recinto a evaluar. El control del ingreso de luz directa del textil juega un rol fundamental en el nivel deslumbramiento.

Tabla 1 - Propiedades de los textiles seleccionados. OF (Factor de apertura) - TV (Transmitancia visible)

Código	Imagen	Color	OF	TV	Material	Peso(gr/m2)
4301		Blanco	3%	0.20	Polyester recubierto con PVC	450
4001		Blanco	5%	0.24	Polyester recubierto con PVC	420
4308		Blanco con gris	3%	0.10	Polyester recubierto con PVC	450
9808		Gris	5%	0.17	Fibra de vidrio recubierto con PVC	410
2007		Blanco con gris	5%	0.11	Fibra de vidrio recubierto con PVC	480
2004		Negro	5%	0.07	Fibra de vidrio recubierto con PVC	480

3.2. Laboratorio de ensayos fotométricos

Los 6 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 salas tienen una ventana de 1m x 1m donde se colocaron los textiles evaluados. En este estudio se utilizó sólo una sala. La ventana cuenta con un vidrio simple incoloro de 6mm con una TV del 88%. Se evaluó un puesto de trabajo ubicado frente a la ventana, 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 (YAMIN ET AL., 2018) y como menciona la norma EN14501, 2018, las peores situaciones esperables deben ser investigadas (EN_14501, 2018). Los valores de reflectancia hemisférica (ρh) de las principales superficies interiores fueron: Paredes (97%), piso (9%), techo (6%) y pared divisora (96%).

El experimento se llevó a cabo durante los meses de abril y mayo de 2019 de 9:00 a 13:00 horas. De acuerdo al Protocolo de la IEA 2016 “Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofits” (DUBOIS ET AL., 2016) que establece dos tipos de monitoreo de iluminación. Un nivel de monitoreo "básico" que exige un día soleado alrededor del equinoccio, mientras que el nivel de monitoreo "completo" requiere medir tanto en solsticios como en equinoccios. Debido a las limitaciones en los instrumentos de medición y el espacio, los autores de este trabajo seleccionaron el nivel de monitoreo básico.



Figura 1: Vista exterior del Laboratorio de Ensayos Fotométricos.

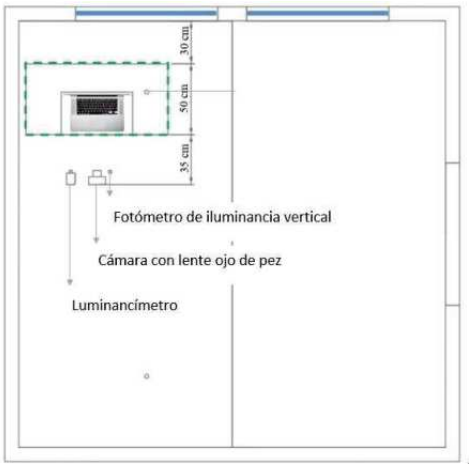

Figura 2: Planta con ubicación de puesto de trabajo e instrumentos de medición



Figura 3: Foto del puesto de trabajo e instrumentos de medición.

3.3. Deslumbramiento y contraste de luminancias

El deslumbramiento y el contraste de luminancias fue calculado mediante imágenes de alto rango dinámico (HDR), las cuales están compuestas por alrededor de 8 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 a la pantalla simulando la visión del ocupante. El procedimiento de selección de las LDR se basó en el tutorial de Pierson (Pierson et al., 2019). Una vez seleccionadas las LDR, estas fueron procesadas en Radiance (Linux) usando el comando hdrgen para generar la HDR. Cada HDR fue calibrada con el valor de luminancia obtenido con luminancímetro 'Minolta LS100'. Posteriormente, la validez de la imagen HDR fue verificada mediante el valor de iluminancia vertical medida externamente con un sensor ubicado al lado de la cámara (radiómetro IL 1700, modelo A415 y sensor fotométrico SCD 110 / rango 0 a 120.000lux). Por último, una vez calibradas las HDR, mediante el programa Evalglare software 1.21 (WIENOLD, 2015) se calcularon:

-Métricas de deslumbramiento:

Tabla 2: Valores de corte de las métricas seleccionadas (WIENOLD ET AL., 2019)

	Métrica	**Imperceptible – Notable**	**Notable – Perturbador**	**Perturbador – Intolerable**
Contraste y saturación	DGP	0.34	0.38	0.45
Contraste	CGI	28.7	31.0	34.8
Saturación	Ev	2484	3359	4384

-Contraste de luminancias, el mismo se calculó mediante la relación entre la luminancia de la tarea y la luminancia de la fuente. Esta relación no debe ser mayor a 1:20.

La Tabla (3) muestra la metodología utilizada para calcular el nivel de deslumbramiento de los textiles. Se toma como ejemplo el textil 2007.

En la Tabla 3(1) se pueden observar los valores continuos de las tres métricas de deslumbramiento (DGP, CGI y Ev). Posteriormente estos valores continuos se convirtieron en valores ordinales (1-Imperceptible, 2-Notable, 3-Perturbador y 4-Intolerable) (Tabla 3(2)) a partir de los valores de corte establecidos en (WIENOLD ET AL.,2018) 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 3(3)). Estas puntuaciones se obtuvieron por hora y de la sumatoria de estos valores se obtiene la puntuación final del textil.

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

	1			**2**			**3**		
2007	**DGP**	**CGI**	**Ev**	**DGP**	**CGI**	**Ev**	**DGP**	**CGI**	**Ev**
9:00	0,17	7,59	296	1	1	1	0	0	0
10:00	0,41	43,24	1222	3	4	1	1	1	0
11:00	0,42	43,98	1175	3	4	1	1	1	0
12:00	0,37	39	783	2	4	1	0	1	0
13:00	0,17	2,43	342	1	1	1	0	0	0
							2	**3**	**0**
							SUMA		

4. RESULTADOS

4.1. 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. En el 100% de las condiciones lumínicas evaluadas se registraron valores de contraste mayores a 1:20 (DILAURA ET AL., 2010). Mientras que la iluminancia vertical que llega al ojo (saturación) fue en el 86% de los casos menor a 3000lx (Umbral de deslumbramiento a partir de la Ev) (WIENOLD ET AL., 2019). Sólo en un 4% de los casos predominaron situaciones de saturación. A partir de estos resultados, se consideró más apropiado utilizar las tres métricas de deslumbramiento. Si bien es predominante el contraste, hay algunas situaciones (4%) donde también predomina la saturación.

4.2. Deslumbramiento

La Tabla 4 muestra los valores de deslumbramiento dicotómico (CGI, DGP y Ev) para los 6 textiles por hora, como así también el puntaje final de cada textil. A partir de los valores de la Tabla 4 se calculó: 1- El nivel de coincidencia de las tres métricas de deslumbramiento y 2- Selección del mejor textil frente al deslumbramiento.

Tabla 4: Deslumbramiento dicotómico de los 6 textiles.

		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
	DGP	0	1	0	0	0	1
4001	Ev	1	1	1	0	0	3
	CGI	1	1	1	0	0	3
	DGP	1	1	1	0	0	3
4301	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	1	1	1	0	0	3
	DGP	1	1	1	0	0	3
9808	Ev	0	0	1	0	0	1
	CGI	0	1	1	0	0	2
	DGP	0	1	1	0	0	2
2007	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	1	1	1	0	3
	DGP	0	1	1	0	0	2
2004	Ev	0	0	0	0	0	0
	CGI	0	1	1	1	0	3
	DGP	0	1	1	0	0	2

4.3. Coincidencia entre las métricas de deslumbramiento

En la Tabla 3 se observa a la izquierda, el acuerdo total entre métricas, presentándose dos casos: Que las tres métricas coincidan en términos de ausencia (0= Ninguna métrica predijo deslumbramiento) y presencia de deslumbramiento (3 = Las tres métricas predijeron deslumbramiento). A la derecha se observa el acuerdo parcial entre métricas (2 = Dos métricas predijeron deslumbramiento) y (1= Una métrica predijo deslumbramiento).

Tabla 5: Resultados de coincidencias: 0) Las tres métricas predijeron ausencia de deslumbramiento 3) las tres métricas predijeron deslumbramiento, 2) 1) Sólo dos y una métrica predijeron deslumbramiento.

Número de veces que coinciden las 3 métricas		**Número de veces que coinciden 1 y 2 métricas**	
0	3	1	2
15 (50%)	4 (13.3%)	2 (6.6%)	9 (30%)
19% (63.3%)		11 (36.6%)	
Total 30 / 100%			

El número de veces que las 3 métricas coincidieron en la predicción de ausencia (0) y presencia (3) de deslumbramiento fue del 63.3%. Sólo dos métricas coincidieron en el 30% de los casos, estas métricas fueron el DGP y el CGI. Y sólo una métrica predijo deslumbramiento en el 6.6% de los casos, esta métrica fue el CGI. Poniéndose en evidencia a esta última métrica cómo la más sensible al deslumbramiento y por consiguiente la métrica que se utilizará para evaluar los textiles. La métrica DGP también mostró un alto grado de sensibilidad y por último la Ev mostró la menor sensibilidad para predecir deslumbramiento, por lo que no es recomendada para utilizarse en estas condiciones lumínicas de altos contrastes.

4.4. Selección del mejor textil frente al deslumbramiento.

La Tabla 6 muestra las imágenes HDR de los 6 textiles evaluados con sus respectivas puntuaciones de deslumbramiento tomando como referencia el modelo CGI.

Tabla 6: Sumatoria de las puntuaciones de deslumbramiento = CGI_S.

4308	SUMA	9808	SUMA	2007	SUMA
	CGI_S=1		CGI_S=2		CGI_S =3
2004		4001		4301	
	CGI_S =3		CGI_S =3		CGI_S =3

Respecto a los textiles evaluados, el 4308 fue el que obtuvo el menor puntaje CGI_S =1, es decir que durante el período evaluado se registró el menor nivel de deslumbramiento en comparación con los otros textiles. Sólo se registró deslumbramiento molesto a las 10:00 horas. El segundo textil mejor puntuado fue el 9808 con un CGI_S =2, registrándose deslumbramiento molesto a las 10:00 y 11:00 horas. Por último, los textiles que permitieron el mayor deslumbramiento fueron el 4001, 4301, 2007 y 2004 con un CGI_S =3. Por un lado, los textiles 4001 y 4301 con deslumbramiento entre las 9:00 y las 11:00 horas y los textiles 2007 y 2004 con deslumbramiento entre las 10:00 y las 12:00.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron 6 textiles de diferentes propiedades (Color, OF, TV) a partir de tres modelos de deslumbramiento. Estos modelos fueron seleccionados según la naturaleza de los mismos. Es decir, si son sensibles a situaciones de altos contraste como el modelo CGI, 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.

En primer lugar, se evaluó qué situación lumínica predominaba en el espacio, en el 100% de los casos hubo altos contraste de luminancias, mientras que se registraron muy pocos casos con predominio de la saturación. Debido a la existencia de todas las condiciones se utilizaron las tres métricas. Del análisis de las mismas se observó que, por un lado, la métrica CGI fue la más sensible en este estudio superando al modelo DGP. Es decir que cuando predomina el contraste entre la luminancia de la fuente y la tarea es preferible utilizar una métrica específica. Por otro lado, respecto al análisis de deslumbramiento de los textiles, se observó que sólo un textil el 4308 con un OF 3% y TV 0.10 fue el que mejor se comportó frente al deslumbramiento.

Es importante mencionar algunas limitaciones que presenta este trabajo y que repercuten en los resultados obtenidos. Por un lado, en futuros trabajo se prevé repetir las mediciones tanto en solsticios como en equinoccios y en las distintas orientaciones para tener un monitoreo completo de las condiciones de iluminación anuales. Por otro lado, si bien se evaluaron dos posiciones del puesto de trabajo muy diferentes, en futuros trabajos se debería incluir una 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.

Finalmente, los aportes más relevantes a la comunidad científica son: Por un lado, proponer una metodología novedosa para la selección de cortinas roller que incluye dos apectos. El primero, predefinir los escenarios a evaluar para aplicar una métrica adecuada y el segundo, destacar a la métrica CGI para la evaluación de escenarios con luz natural y altos contrastes. Por otro lado, la caracterización de los textiles frente al deslumbramiento permite a los usuarios tomar decisiones acertadas a la hora de seleccionar un textil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

DILAURA, D. L., HOUSER, K. W., MISTRICK, R. G., & STEFFY, G. R. (2010). The lighting handbook: Reference and application. Illuminating Engineering Society of North America New York (NY).

DUBOIS, M. C., GENTILE, N., AMORIM, C. N. D., GEISLER-MORODER, D., JAKOBIAK, R., MATUSIAK, B., & STOFFER, S. (2016). Monitoring protocol for lighting and daylighting retrofits.

EINHORN, H. D. (1979). Discomfort glare: a formula to bridge differences. Lighting Research & Technology, 11(2), 90–94.

EN_14501. (2018). Blinds and shutters .Thermal and visual comfort. Performance characteristics and classification.

HIRNING, M. B., ISOARDI, G. L., & GARCIA-HANSEN, V. R. (2017). Prediction of discomfort glare from windows under tropical skies. Building and Environment, 113, 107–120.

KONSTANTZOS, I., & TZEMPELIKOS, A. (2017). Daylight glare evaluation with the sun in the field of view through window shades. Building and Environment, 113, 65–77. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.009

KONSTANTZOS, I., TZEMPELIKOS, A., & CHAN, Y.-C. (2015). Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. Building and Environment, 87, 244–254.

PIERSON, C., CAUWERTS, C., BODART, M., & WIENOLD, J. (2019). Tutorial: Luminance Maps for Daylighting Studies from High Dynamic Range Photography. Leukos, 1–30. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15502724.2019.1684319

PIERSON, C., WIENOLD, J., & BODART, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: influencing factors. Energy Procedia, 122, 331–336. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.332

SHAFAVI, N. S., ZOMORODIAN, Z. S., TAHSILDOOST, M., & JAVADI, M. (2020). Occupants visual comfort assessments: A review of field studies and lab experiments. Solar Energy, 208, 249–274.

SHIN, J. Y., YUN, G. Y., & KIM, J. T. (2012). View types and luminance effects on discomfort glare assessment from windows. Energy and Buildings, 46, 139–145. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.036

TUAYCHAROEN, N. (2011). Windows are less glaring when there is a preferred view. 09(01), 45–55.

VILLALBA, A. M., PATTINI, A. E., & CÓRICA, M. L. (2012). Análisis de las características morfológicas de las envolventes edilicias y del entorno urbano desde la perspectiva de la iluminación natural. Ambiente Construído, 12(4), 159–175.

WEBB, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. Energy and Buildings, 38(7), 721–727.

WIENOLD, J., IWATA, T., SAREY KHANIE, M., ERELL, E., KAFTAN, E., RODRIGUEZ, R. G., YAMIN GARRETON, J. A., TZEMPELIKOS, T., KONSTANTZOS, I., CHRISTOFFERSEN, J., KUHN, T. E., PIERSON, C., & ANDERSEN, M. (2019). Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. Lighting Research and Technology, 51(7). https://doi.org/10.1177/1477153519826003

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 and Buildings, 38(7), 743–757. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.017

WIENOLD, J. (2009). Daylight Glare in Offices PhD thesis (Issue Lld). Universität Karlsruhe.

WIENOLD, J. (2015). Evalglare (version v1.22) (Issue 1, pp. 1–4).

YAMIN GARRETON, J., VILLALBA, A. M., RODRIGUEZ, 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. Solar Energy, 213, 91–101.

YAMIN, 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 and Buildings, 166, 145–153.

AGRADECIMIENTOS

Empresa Dino Conte por proveer las muestras de cortinas roller para este estudio. / ANPCYT: PICT 2018-03269; -PICT 2017-1088; PICT-2018-02080; PICT 2019-04356.