

Caracterización del comportamiento óptico de cortinas textiles en simulación de iluminación natural.

Implicancias de su modelado en el cálculo de disponibilidad de luz y deslumbramiento.

Ayelén Villalba

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CCT Mendoza, CONICET.

Av. Ruiz Leal s/n - Parque Gral. San Martín, M5500 Mendoza

avillalba@conicet-mendoza.gob.ar

Julieta Yamín

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CCT Mendoza, CONICET.

Av. Ruiz Leal s/n - Parque Gral. San Martín, M5500 Mendoza

jyamin@conicet-mendoza.gob.ar

Jan Wienold

LIPID, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne,

1 111, Station 18, CH-1015, Lausanne, Switzerland.

jan.wienold@epfl.ch

Juan Manuel Monteoliva

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CCT Mendoza, CONICET.

Av. Ruiz Leal s/n - Parque Gral. San Martín, M5500 Mendoza

jmonteoliva@conicet-mendoza.gob.ar

Andrea Pattini

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CCT Mendoza, CONICET.

Av. Ruiz Leal s/n - Parque Gral. San Martín, M5500 Mendoza

apattini@conicet-mendoza.gob.ar

Código del manuscrito: 05_002

Fecha de aceptación: 04/10/2019

Resumen

Las cortinas interiores son sistemas de sombreado ampliamente utilizados, a nivel local e internacional, para controlar el ingreso de la radiación solar directa en los espacios interiores. Sin embargo, la errónea caracterización de los sistemas de sombreado resulta en espacios con malestar visual e incrementos de los consumos de energía. Es por esta causa que se han desarrollado diversos modelos que caracterizan el comportamiento óptico de textiles en entornos de simulación que requieren información limitada por parte del fabricante (modelos que no requieren como input datos ópticos con dependencia angular). En este marco, este trabajo realiza una contrastación de datos medidos en box de ensayos luminotécnicos –iluminancia vertical e iluminancia horizontal- con los obtenidos mediante simulación con la finalidad de analizar la representatividad del modelo empírico angular de dos capas (Wienold et al., 2017) para la caracterización del comportamiento lumínico de cortinas textiles, en entornos de trazado de rayos –Radiance-.

Los resultados demuestran que el modelo analizado presenta una respuesta adecuada tanto para condiciones de luz difusa como directa, presentando valores de NRMSE% inferiores al 11% para valores de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo – disponibilidad-. Asimismo, se observaron errores inferiores al 10% cuando se comparó valores de iluminancia vertical a nivel de los ojos medidos externamente y simulados –deslumbramiento-.

Palabras claves: Iluminación natural, Simulación, Cortinas textiles, Propiedades ópticas, Modelos.

Abstract

Interior curtains are widely used shading systems, locally and internationally, used to manage the entry of direct solar radiation into interior spaces. However, the mischaracterization of shading systems results in spaces with visual discomfort and increases in energy consumption. It is for this reason that several models that characterize the optical behavior of textiles in simulation environments that require limited information from the manufacturer (models that don't require optical data with angular dependence as input) have been developed. Within this framework, this work carries out a comparison of data measured in an experimental lighting laboratory -vertical luminance and horizontal illuminance- with those obtained by simulation in order to analyze the degree of performance of the two-layer angular empirical model (Wienold et al., 2017) for the characterization of the light behavior of textile curtains, in ray tracing environments –Radiance-. Results show that the analyzed model has an adequate response for both diffuse and direct daylight conditions, presenting NRMSE% values lower than 11% for horizontal illuminance values on the work plane – availability-. Likewise, errors below 10% were observed when comparing measured and simulated externally vertical illuminance values at eye level –glare-.

Keywords: Daylight, Simulation, Fabric curtains, Optical properties, Models.

Introducción

La creciente importancia que han adquirido los sistemas de sombreado y redirección de radiación solar en el desempeño energético de los edificios ha conducido al desarrollo de diversos componentes innovadores. Los novedosos sistemas de control solar y sombreado deben permitir el ingreso de luz natural y mejorar la uniformidad de la luz en los espacios interiores mientras que controlan la luz solar directa y reducen el deslumbramiento y el malestar visual de los ocupantes (Ruck et al., 2000; Athienitis y Tzempelikos, 2002). Sin embargo, muchos de estos sistemas se insertan en el mercado sin una adecuada caracterización lumínica-energética que permita su correcta aplicación en relación al clima regional. La errónea o imprecisa caracterización de los sistemas de aventamientos complejos puede resultar en perjuicios en relación al confort visual como en incrementos de los consumos de energía.

Las cortinas interiores son sistemas de sombreado ampliamente utilizados, a nivel local e internacional, para controlar el ingreso de la radiación solar directa en los espacios interiores (Wienold et al., 2017; Villalba et al., 2012;). En la actualidad existe un significativo desarrollo de distintas tipologías de cortinas interiores que involucran una amplia variedad de tejidos y morfologías: cortinas celulares, cortinas roller, cortinas screen, cortinas plisadas y cortinas roller dual (segmentos alternados de tela opaca y translúcida). Estos sistemas son complejos de caracterizar en su comportamiento lumínico-energético debido a que son sistemas móviles (Athienitis y Tzempelikos, 2002), y a que la caracterización y modelización de su comportamiento óptico no son sencillas (Jonsson et al., 2008; Tzempelikos y Chan, 2016; Konstantzos et al., 2015; Deneayer et al., 2014; Kotey, 2009), por lo que actualmente se aplican en edificios sin conocer su comportamiento lumínico-energético.

Las nuevas capacidades de modelado en entornos de simulación utilizan la función de distribución bidireccional de reflectancia (BRDF) o de transmitancia (BTDF) (Papamichael et al., 1988; Klems, 1994; Andersen y deBoer, 2006; McNeil et al, 2013) para caracterizar la transmisión y la reflexión angular de la luz a través de un dispositivo de sombreado. Estos pueden ser incorporados posteriormente a programas de computación (software) que analizan el comportamiento energético de un edificio, y además ser aplicados a las evaluaciones de confort humano y de calidad ambiental interior (McNeil et al., 2013). Sin embargo, estos datos se miden en escasas instalaciones alrededor del mundo, ya que involucran complejos y costosos procesos. Es por esta causa que se han desarrollado diversos modelos que caracterizan el comportamiento óptico de textiles en entornos de simulación que requieren información limitada por parte del fabricante (Tabla 1) (modelos que no requieren como input datos ópticos con dependencia angular) (Reinhart y Andersen, 2006; Apian-Bennewitz, 2013; LBNL, 2013; Kotey et al., 2009; Kotey, 2009; McNeil et al, 2013; Molina et al, 2015; LBNL, 2015; Carli Inc., 2006; Wienold et al. 2017).

Tabla 1. Modelos de caracterización de propiedades ópticas de cortinas textiles (Tzempelikos y Chan, 2016; Wienold et al. 2017).

MODELO	DATOS SOLICITADOS
Modelo simplificado, sin propiedades angulares: Trans function (Reinhart y Andersen, 2006; Apian-Bennewitz, 2013)	-transmitancia directa-total a incidencia normal -proporción entre transmitancia directa y difusa
Modelo simplificado, sin propiedades angulares: Energy plus (LBNL, 2013)	-transmitancia directa-total a incidencia normal -transmitancia directa-directa a incidencia normal
Modelo empírico angular (Kotey et al., 2009)	-transmitancia directa-total a incidencia normal -transmitancia directa-directa a incidencia normal
Modelo de Ray Tracing: gen BSDF (McNeil et al, 2013; Molina et al, 2015)	-geometría detallada del tejido.
Geometrical Radiosity Model: Woven shade (LBNL, 2015; Carli Inc., 2006)	-geometría del tejido (porcentaje de abertura del tejido y grosor de hilo)
Modelo empírico angular de dos capas (Wienold et al. 2017)	-transmitancia directa-directa a incidencia normal -transmitancia directa-difusa a incidencia normal -reflectancia difusa -ángulo de corte

La performance de la mayoría de los modelos de caracterización óptica de textiles mencionados anteriormente han sido comparados con mediciones en espacios reales escala (Tzempelikos y Chan, 2016), con la finalidad de determinar su desempeño en simulación de iluminación natural respecto a la performance de la iluminación natural y el deslumbramiento. En este marco, este trabajo realiza una comparación del modelo de Wienold et al. (2017) utilizando mediciones en un espacio real. El objetivo del trabajo es analizar el impacto de este modelo en la caracterización de cortinas textiles interiores en simulaciones de iluminación natural.

Metodología

Caso de estudio


El modelo de simulación textil propuesto por Wienold et al. (2017) se fundamenta en que existen dos propiedades ópticas de los textiles que influyen la ocurrencia de deslumbramiento: la transmisión de luz visible normal-hemisférica (TV n-h) (impacto en el deslumbramiento de saturación) y la transmisión de luz visible normal-normal (TV n-n) (impacto en el deslumbramiento de contraste). Este modelo considera que la transmitancia directa de este tipo de tejido depende del ángulo de incidencia de la fuente, ya que las fibras que conforman el tejido crean una estructura tridimensional. Asimismo, el modelo considera el ángulo de corte del tejido. Este es el ángulo de incidencia a partir del cual la transmisión de luz visible normal-normal se reduce a 0.

Para considerar el comportamiento angular de la transmitancia el modelo presenta dos capas. Una exterior que considera la caída de la transmitancia para ángulos de incidencia elevados y una interior que controla la transmitancia normal-normal dependiendo del ángulo de incidencia (Wienold et al, 2017).

Como caso de estudio se analiza un tejido interior con un factor de apertura (FA) de un 3%. El textil seleccionado para el análisis es un screen blanco, cuyas propiedades se detallan en la tabla 2. Algunas propiedades son brindadas por el fabricante –factor de apertura, peso, material, tipo de tejido-. Si bien la transmitancia directa es ligeramente diferente al factor de apertura debido a los procesos de producción (Wienold et al, 2017), en este trabajo por no disponer de instrumental para medir este indicador se considera que son iguales. En un estudio realizado por Tzempelikos y Chan (2016), donde analizan seis textiles, detectan una raíz del error cuadrático medio normalizada (NRMSE) de 15% entre los valores de FA ofrecidos por los fabricantes y los medidos en laboratorio.

Los valores de transmitancia normal-global (Tn-g) espectral se midieron en un espectrofotómetro OPTRONIC (rango de medición: 330 nm a 1598 nm / ancho de banda de medición: 4 nm / intervalo de medición: cada 4 nm). Suponiendo que la transmisión de luz visible normal-normal (Tn-n) es igual al factor de apertura, podemos despejar el valor de la transmisión de luz visible normal-hemisférica (Tn-h): $Tn-h = Tn-g - Tn-n$.

Tabla 2. Propiedades físicas y ópticas del textil screen 4301.

Screen 4301	Propiedades	
	FA (Factor de apertura)	0.03
	Ángulo de corte (°)	66
	Peso (g/m ²)	450
	TV n-h	0.27
	TV n-n	0.03
	Coordenadas cromáticas (rgb)	242, 239, 235
	Material	poliester
	Tipo de tejido	screen

El ángulo de corte se midió con un equipo diseñado para la cuantificación de la TV de materiales traslúcidos (Figura 1). Se efectuaron adecuaciones técnicas del equipo de medición para la realización de registros a distintos ángulos de incidencia. Mediante esta medición podemos determinar que el ángulo de corte del tejido analizado es a los 66° (Figura 2).

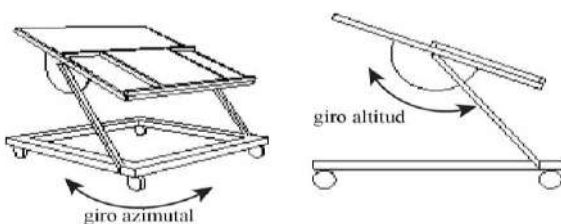


Figura 1. Equipo para la determinación de la transmitancia visible.

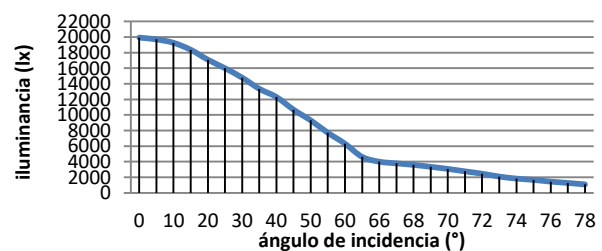


Figura 2. Gráfica que muestra el ángulo de corte del tejido de acuerdo a valores de iluminancia transmitida para distintos

ángulos de incidencia

Desarrollo metodológico

La metodología de trabajo está dividida en tres etapas principales: medición en box de ensayos luminotécnicos, simulación de iluminación natural y análisis estadístico de los datos.

Medición en box de ensayos luminotécnicos

Los experimentos se desarrollaron en el box de ensayos experimentales del INAHE (Mendoza, Argentina, 32°53'42"S 68°52'32"O, 842 msnm) (Figura 3). Este recinto dispone de dos espacios de dimensiones idénticas (1,5m ancho por 3m largo por 3m de alto), ubicados uno al lado del otro. Para esta propuesta metodológica solamente se empleará una de las salas (sala 1) (Figura 4). La sala presenta una abertura de 1m por 1m donde se coloca la muestra textil bajo estudio. Resulta adecuado explicar que la abertura no se encuentra exactamente centrada respecto al recinto donde se realizan las mediciones. La abertura está orientada al noreste para el desarrollo de este estudio. Esta disposición resulta adecuada para este estudio ya que permite verificando el ajuste del modelo para un rango más amplio de ángulos de altitud solar. El box se ubica en un área sin presencia de construcciones ni forestales, por esto no hay obstrucciones cerca de las ventanas y el acceso de sol es pleno.



Figura 3. Interior y exterior del box de ensayos experimentales.

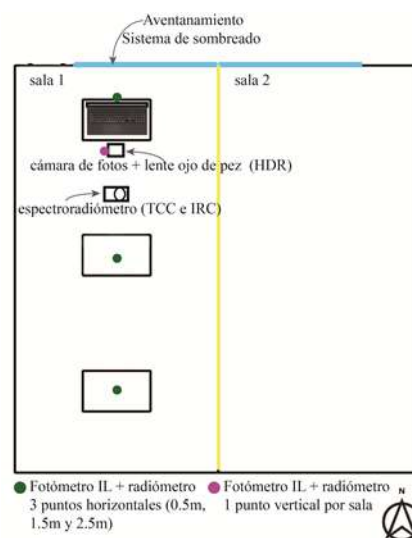


Figura 4. Disposición de equipamiento en el interior del box (Laboratorio de ensayos experimentales).

Registro de iluminancia vertical sobre fachada. Se cuantificó la iluminancia exterior sobre la fachada en la cual se encuentra ubicado el aventanamiento. Este registro se efectúa con un sensor fotométrico LI-COR LI-210. Con el objetivo de amplificar la señal del sensor se conecta a un amplificador de señal UTA (Universal Transconductance Amplifier). Asimismo, para poder archivar los valores de iluminancia e irradiancia se conecta el sensor LI-COR a un registrador de datos Data Logger HOBO.

Registros de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo. Los niveles de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo (80 cm de altura), registrados en distintos puntos (3) de la sala de estudio. Estos registros se desarrollaron con un radiómetro IL 1700, con un multiplexor modelo A415 y 3 sensores fotométricos SCD 110 / rango 0 a 120.000 lux. El intervalo de tiempo usado para la obtención de los datos fue de 1 minuto. En la Figura 5 se esquematiza la distribución y disposición del equipamiento para efectuar la medición.

Registros de deslumbramiento. Para calcular el deslumbramiento se efectuaron registros de iluminancia vertical, posicionando el sensor con la misma dirección y ubicación en la que se dispuso la cámara de fotos para la evaluación de deslumbramiento. El equipamiento empleado fue un radiómetro IL 1700, modelo A415 y 1 sensor fotométrico SCD 110 / rango 0 a 120.000 lux. Se seleccionó como métrica de deslumbramiento la iluminancia vertical a nivel de los ojos (E_v) por ser una métrica sencilla y que mostró ser una de las métricas de deslumbramiento, más robustas según un estudio publicado recientemente (Wienold et al., 2018) y adecuada para este tipo de análisis en cuando se evalúa un tejido con elevada transmitancia difusa (0.27) y baja

transmitancia directa (0.03). Las métricas destacadas en este estudio fueron las siguientes: 1) Modelo de deslumbramiento con luz natural (DGP), desarrollado por Wienold (2010). Esta métrica calcula el deslumbramiento basándose en efecto de contraste y saturación; 2) Iluminancia vertical a nivel de los ojos (E_v), esta métrica fue evaluada por Velds (2000) y Wienold (2010). Se basa en efecto de saturación, teniendo en cuenta la cantidad de luz que llega al ojo como principal variable; 3) Luminancia promedio de la escena (L_{avg}). Métrica desarrollada por Van Den Wymelenberg e Inanici (2014). También es una métrica basada en el efecto de saturación; 4) Predicción de la sensación de deslumbramiento (PGSV), esta métrica fue desarrollada por Iwata (1998) y calcula el deslumbramiento basándose en efecto de contraste y saturación.

Caracterización de los materiales. En la Tabla 3 se observan los valores de las coordenadas de color (RGB) de cada una de las superficies interiores. Estos valores de reflectancia fueron registrados mediante la metodología propuesta por Fontoynt (1999).

Tabla 3. Valores de reflectancia hemisférica-hemisférica (p_{hh}) y coordenadas de color (RGB) de las principales superficies interiores.

material	p _{hh}	R	G	B
pared	87	228	229	224
piso	9	94	91	83
techo	6	68	71	68
muro divisor	86	228	229	224

El vidrio seleccionado para el estudio es un vidrio simple claro de 6mm de espesor cuyas características y curva de selectividad espectral se detallan en la Tabla 4 y Figura 5, respectivamente. Resulta pertinente destacar que el sistema de vidriado seleccionado provoca una reducción de entre un 11.6% y un 57,3% de la TV de acuerdo al ángulo de incidencia de la fuente.

Tabla 4. TV del vidrio de 6mm claro para distintos ángulos de incidencia de la fuente (Optics 6).

ángulo	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Hemisférica
TV	0.884	0.883	0.882	0.879	0.872	0.852	0.804	0.688	0.427	0.000	0.805

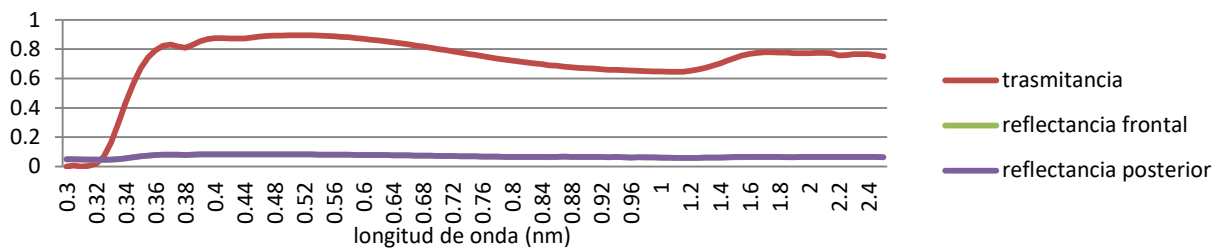


Figura 5. Gráfica que muestra la reflectancia y transmitancia espectral del vidrio claro de 6mm seleccionado.

Simulación de iluminación natural

El modelo virtual (Figura 6) fue construido en el software Google SketchUp Make 2015 y exportado a RADIANCE v.5.0 a través de la extensión Groundhog v.0.9.1 (Molina et al., 2016). La caracterización fotométrica de los materiales del espacio interior de la sala, se realizó de acuerdo a los valores de reflectancia y transmitancia medidos. Las simulaciones de iluminación natural fueron desarrolladas en RADIANCE (Ward y Shakespeare, 1998), a través de rutinas específicas generadas en lenguaje Ruby (*.rb) para el estudio. Los parámetros de simulación seleccionados corresponden a los propuestos por McNeil (Jacobs, 2019): -ab 5 -ad 2048 -as 512 -aa 0.08 -ar 512 -dt 0 -ds 0 -lw 9e-6.

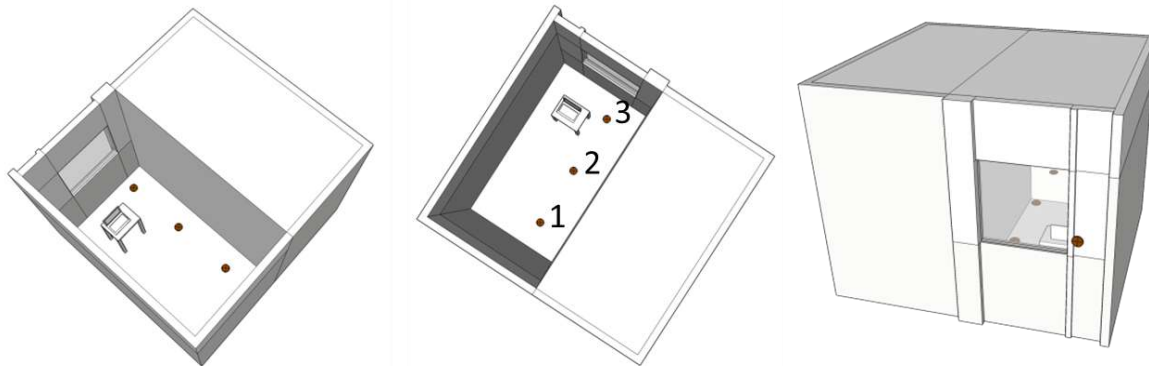


Figura 6. Esquema del espacio analizado.

Datos climáticos empleados en la simulación. Las condiciones de cielo bajo la cual se realizan las mediciones son monitoreadas con la estación IDMP clase general a intervalo minuto-minuto ubicada en el mismo predio donde se efectúan el resto de las mediciones (CCT-CONICET, Mendoza). Todos los parámetros mencionados son registrados siguiendo las condiciones estipuladas por la CIE (TREGENZA et al., 1994). Los parámetros que se registran son: Iluminancia Horizontal Global (Fotómetro Licor 210 SA); Iluminancia Horizontal Difusa Fotómetro (Licor 210 SA + banda de sombra); Radiación Horizontal Global (Piranómetro EPPLEY 8-48); Radiación Horizontal Difusa (Piranómetro EPPLEY 8-48 + banda de sombra) (Monteoliva y Pattini, 2014.) La Figura 7 muestra los valores de irradiancia global y difusa para el día en que se realizaron las mediciones (10-04-19). Se observa que corresponden a un día con cielo claro, sin interferencia de nubosidad. Esta situación es representativa de las condiciones climáticas de la región donde se desarrolla el estudio (Mendoza, Argentina). Los datos climáticos que se obtienen de la estación de medición son posteriormente utilizados como input en la simulación.

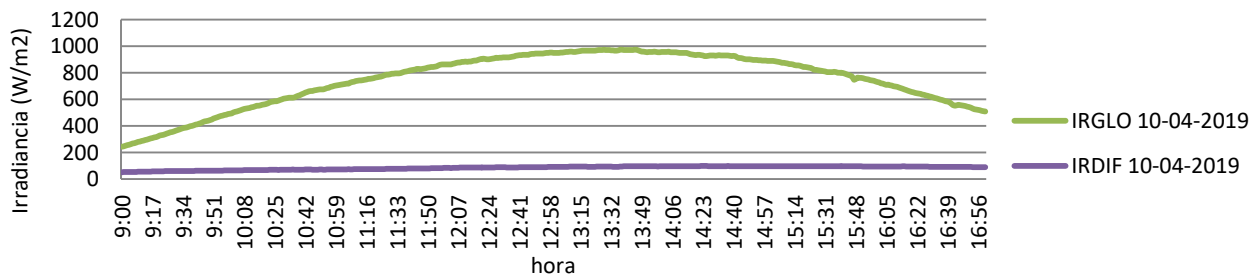


Figura 7. Curvas irradiancia global y difusa hora a hora para la fecha en que se realizaron las mediciones.

Análisis estadístico

El estadístico empleado para desarrollar la comparación de los datos obtenidos con las diferentes metodologías de análisis es la raíz del error cuadrático medio (siglas en inglés RMSE) (ecuación 1) y la raíz del error cuadrático medio normalizada (sigla en inglés NRMSE) (ecuación 2). Estos estadísticos permiten determinar la diferencia entre los valores de iluminancia medidos y los obtenidos con el modelo empírico angular de dos capas. Los mismos se emplean para analizar las diferencias entre los valores de iluminancia vertical sobre fachada, iluminancia horizontal sobre plano de trabajo y valores de iluminancia vertical interior -indicador de deslumbramiento- medidos y simulados.

$$\text{Ecuación 1} \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (E_{simulado} - E_{medido})^2}$$

$$\text{Ecuación 2} \quad NRMSE = \sqrt{\frac{\sum (E_{simulado} - E_{medido})^2}{\sum E_{medido}^2}}$$

Resultados

Comparación de valores de iluminancia vertical sobre fachada medidos y simulados. Como primer punto de calibración de la simulación de iluminación natural se calculó el ajuste de los valores simulados y medidos de iluminancia vertical sobre fachada. El NRMSE detectado alcanzó un valor de 6%, siendo el error promedio absoluto de 6288 lx (Tabla 5). En la Figura 8 se observan las curvas de los valores de iluminancia vertical medida y simulada.

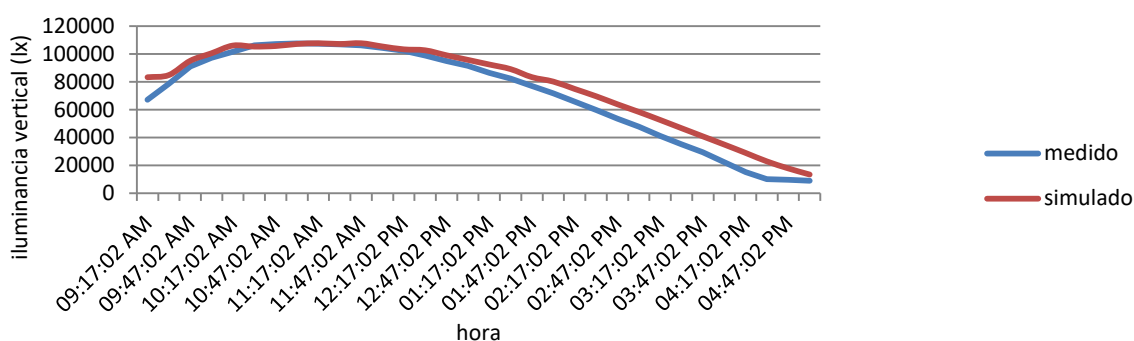


Figura 8. Curvas de iluminancia vertical sobre fachada hora a hora simulada / medida.

Tabla 5. Parámetros estadísticos analizados: iluminancia vertical sobre fachada.

Error abs promedio	RMSE	NRMSE
6288 lx	6214	6%

Comparación de valores de iluminancia horizontal medidos y simulados. En la Figura 9 se expone las curvas de los valores de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo medidas y simuladas para el punto más próximo (3), el intermedio (2) y el más alejado (1) de la ventana (Figura 6). Como primera aproximación observamos que las curvas simuladas y medidas presentan un comportamiento semejante. En la Tabla 6 se exhiben los valores de NRMSE, donde se observa que para los tres casos es inferior al 11%. Siendo levemente más elevado para el punto más próximo a la ventana.

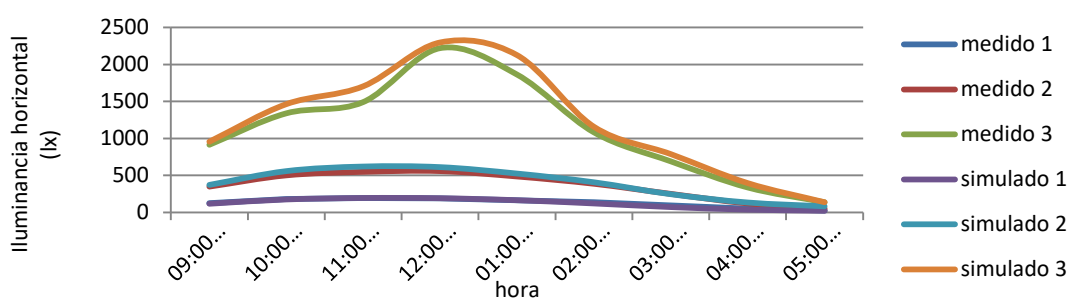


Figura 9. Curvas de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo hora a hora simulada / medida.

Tabla 6. Parámetros estadísticos analizados: iluminancia horizontal sobre plano de trabajo (punto 1, 2 y 3).

medido1 vs. simulado 1			medido 2 vs. simulado 2			medido 3 vs. simulado 3		
Error abs promedio	RMSE	NRMSE	Error abs promedio	RMSE	NRMSE	Error abs promedio	RMSE	NRMSE
7	11	8%	34	41	10%	106	132	10%

Comparación de valores de iluminancia vertical -indicador de deslumbramiento- medidos y simulados. Respecto al deslumbramiento se compararon, los valores de iluminancia vertical a nivel de los ojos medidos externamente y simulados (Tabla 7). En la Tabla 7 se pueden observar los valores de iluminancia vertical a nivel de los ojos medidos y simulados, los errores absolutos entre ambos, como así también los valores de RMSE y NRMSE. Por un lado, se puede observar que los valores medidos en general fueron más bajos que los valores simulados, excepto a las 11:00 horas. Por otro lado, los errores absolutos estuvieron en un rango aceptable <17% para todas las horas. Por último, el valor porcentual de NRMSE es aceptable con un total del 9%.

Tabla 7. Parámetros estadísticos analizados: iluminancia vertical a nivel de los ojos.

hora	medido	simulado	Error abs	RMSE	NRMSE
9	1056	1176	-120	14413	1115136
10	2040	1865	175	30573	4161600
11	2080	2087	-7	54	4326400
12	1973	2108	-135	18274	3892729
13	1477	1709	-232	53682	2181529
14	1152	1314	-162	26372	1327104
15	753	785	-32	1041	567009
16	376	382	-6	35	141376
				134	9%

Discusión y Conclusiones

Estudios previos (Reinhart y Andersen, 2006; Apian-Bennewitz, 2013; LBNL, 2013; Kotey et al., 2009; Kotey, 2009; McNeil et al, 2013; Molina et al, 2015; Villalba et al., 2017) demuestran que la metodología de caracterización de los tejidos que conforman las cortinas interiores, para simulaciones de iluminación natural, es de fundamental importancia para avanzar en el estudio mediante simulación del comportamiento de la iluminación natural.

Este trabajo realiza una contrastación de datos medidos en box de ensayos luminotécnicos –iluminancia vertical (luxómetro e imagen HDR) e iluminancia horizontal- con los obtenidos mediante simulación con la finalidad de analizar la representatividad del modelo empírico angular de dos capas (Wienold et al., 2017) para la caracterización del comportamiento lumínico de cortinas textiles, en entornos de trazado de rayos –Radiance-. Los resultados demuestran que el modelo analizado presenta una respuesta adecuada tanto para condiciones de luz difusa como directa, presentando valores de NRMSE% inferiores al 11% para valores de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo –disponibilidad-. Asimismo, se observó un NRMSE% inferior al 10% cuando se comparó valores de iluminancia vertical a nivel de los ojos medidos externamente y simulados –deslumbramiento-.

En futuros estudios se busca avanzar sobre la evaluación del modelo empírico angular de dos capas (Wienold et al., 2017) para la caracterización de textiles que presenten distintas características en sus propiedades: tipo de tejido (screen, traslúcida, blackout), color, porcentaje de apertura del tejido, peso y material que conforma el tejido.

Finalmente, resulta importante destacar que, en el contexto local –Argentina- y regional –Latinoamérica- la escasa disponibilidad de laboratorios que tienen la capacidad de cuantificar con precisión las propiedades ópticas de los componentes de la envolvente edilicia dificulta la caracterización del desempeño óptico de los materiales que se comercializan a nivel local. En este marco los autores de este trabajo consideran que es de fundamental importancia avanzar en la verificación de modelos que no requieren la determinación previa de complejas propiedades ópticas de los tejidos y en el desarrollo de metodologías para la estimación de propiedades ópticas de materiales con instrumental de mediano y bajo costo.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a: -Empresa Dino Conte por proveer las muestras de cortinas roller para este estudio / PICT 2017-1088: sistemas de control solar interiores: caracterización energética e impacto en la calidad de la iluminación natural en edificios no residenciales. Desarrollo de diseños innovativos. / PICT 2016-1487. Manejo de la radiación solar para iluminar el

hábitat. Diseños, materiales y métodos de impacto energéticos y no energéticos / PICT 2016-0872. Iluminación en aulas. La dinámica de la luz natural en regiones de cielo claro y su incidencia en el desempeño del control cognitivo.

Referencias

- Andersen, M., de Boer, J. (2006). Goniophotometry and assessment of bi-directional photometric properties of complex fenestration systems. *Energy and Buildings*, 38: 836–848.
- Apian-bennewitz, P. (2013). Review of simulating four classes of window materials for daylighting with non-standard BSDF using the simulation program Radiance arXiv : 1307 . 4214v1 [physics . comp-ph] 16 Jul 2013.
- Athienitis, A.K., Tzempelikos, A. (2002). A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device. *Solar Energy*, 72(4): 271-281.
- Carli Inc, Implementation of wovenshade method in layeroptics.dll. 2006. <https://windows.lbl.gov/sites/all/files/Downloads/woven-shade-technical-doc.pdf>
- Deneyer A., Deroisy B., Lethé G., Flamant G.. (2013). Bi-directional scattering distribution data of solar shading characterization and performances, in: Proceedings of CIE Centenary Conference Toward a New Century of Light, Paris France.
- Fontoynt, M. *Daylight performance of buildings*. 1ra ed. London: James and James, 1999.
- Iwata T., Tokura M. (1998). Examination of the limitations of predicted glare sensation vote (PGSV) as a glare index for a large source: Towards a comprehensive development of discomfort glare evaluation. *Lighting Research and Technology*, v.30, n.2, p.81-88.
- Jacobs A. "Radiance tutorial." <http://www.jaloxa.eu/resources/radiance/documentation/index.shtml> (visto: 14/06/2019).
- Jonsson J.C., Lee E.S., Rubin M. (2008). Light scattering properties of woven shade-screen material used for daylighting and solar heat-gain control. *SPIE Optics + Photonics*, 7065: 70650R-70650R-11.
- Klems, J.H. (1994). A new method for predicting the solar heat gain of complex fenestration systems: II. Detailed description of the matrix layer calculation. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Transactions*, 100 (1): 1073–1086.
- 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*, Vol 87, Pp. 244-254.
- Kotey N.A., Wright J.L., Collins M.R.. (2009) Determining off-normal solar optical properties of roller blinds, *ASHRAE Trans.* 115 (1) 145–154.
- Kotey, Nathan Amon. Measurements and Models Related to Solar Optics in Windows with Shading Devices. Thesis Doctoral. University of Waterloo. Waterloo, Ontario, Canada, 2009.
- Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). (2013). EnergyPlus Engineering Reference-The Reference for EnergyPlus Calculations.
- LBNL, WINDOW 7.3 Software Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015 (Available from: <https://windows.lbl.gov/software/window/window.html>).
- McNeil A., Jonsson C.J., Appelfeld D., Ward G., Lee E.S.. (2013). A validation of a ray-tracing tool used to generate bi-directional scattering distribution functions for complex fenestration systems, *Sol. Energy* vol. 98, Pp. 404–414.
- Molina G., Bustamante W., Rao J., Fazio P., Vera S. (2015). Evaluation of radiance's genBSDF capability to assess solar bidirectional properties of complex fenestration systems, *J. Build. Perform. Simul.* 8 (4) 216–225.
- Molina G., Vera S., Bustamante W., Bleicher, T. (2016). Groundhog –SketchUp Extension for exporting Radiance models. <https://extensions.sketchup.com/en/content/groundhog>
- Monteoliva, Jm.; Pattini, A. Iluminancia. (2014). Irradiancia en la estación de medición idmp-cct conicet mendoza. En: 5° Congreso Internacional Solar Cities "Energía en las ciudades: innovación frente al cambio climático" Centro Metropolitano de Diseño Buenos Aires, Argentina 17 y 18 de noviembre.

- Papamichael, K., Klems, J., Selkowitz, S. (1988). Determination and application of bidirectional solar-optical properties of fenestration systems. Proceedings, 13th National Passive Solar Conference, Cambridge, MA.
- Reinhart C.F., Andersen M. (2006). Development and validation of a Radiance model for a translucent panel, *Energy Build.* 38 (7): Pp. 890–904.
- Ruck, N., Aschehoug, O., Aydinli, S., Christoffersen, J., Courret, G., Edmonds, I., Jakobiak, R., Kischkoweit-Lopin, M., Klinger, M., Lee, E., Michel, L., Scartezzini, J.L., Selkowitz, S. (2000). *Daylight in buildings. A source book on daylighting systems and components.* Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory –International Energy Agency, Solar Heating and Cooling Programme, SHC, Energy Conservation in buildings and Community Systems Programme.
- Tzempelikos A., Chan Y-C. (2016). Estimating detailed optical properties of window shades from basic available data and modeling implications on daylighting and visual comfort, *Energy and Buildings*, Vol. 126, Pp. 396-407.
- Van Den Wymelenberg K., Inanici M. (2014). A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight. *Leukos*, v.10, n.3, p.145-164.
- Villalba, A.; Pattini, A.; Córlica, L. (2012). Diagnóstico morfológico descriptivo de las envolventes según su interacción con el clima luminoso. *Ambiente Construido*, v.12, n.4, p. 159-175.
- Ward G., Shakespeare R. (1998). *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization.* Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Wienold J. 2010. *Daylight glare in offices.* Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
- Wienold J., Iwata T., Sarey Khanie M., Erell E., Kaftan E., Rodriguez R. G.; ...; Kuhn T.E. Cross-validation and robustness of daylight glare metrics. *Lighting Research & Technology*, 1477153519826003. 2018.
- Wienold, J., Kuhn, T. E., Christoffersen, J., Andersen, M. (2017). Annual glare evaluation for fabrics. En PLEA 2017, EDIMBURGH. DESIGN TO THRIVE.