

CARACTERIZACIÓN DE CORTINAS TEXTILES EN LA SIMULACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL

A. Villalba , J. M. Monteoliva , A. Pattini .

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
- Centro Científico y Tecnológico (CCT-Mendoza). C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244310 e-mail: avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

Recibido:28-08-17; Aceptado:30-10-17.

RESUMEN.- La creciente importancia adquirida por los sistemas de sombreado y redirección de radiación solar en el desempeño energético de los edificios ha conducido al desarrollo de diversos componentes innovadores. Sin embargo, muchos de éstos se insertan en el mercado sin una adecuada caracterización lumínica que permita su correcta aplicación. Esto puede conducir a situaciones de malestar visual e incrementos en los consumos de energía de un espacio. El objetivo de este trabajo es analizar el impacto de diferentes metodologías de caracterización de los tejidos que conforman las cortinas textiles interiores en simulaciones dinámicas de iluminación natural (RADIANCE). Las metodologías de caracterización del material evaluadas son: base BSDF, modelo de vidrio o *glass* y modelo de material translucido o *trans*. Los resultados evidencian importantes diferencias (RMSE > 90%) entre las metodologías analizadas. Se concluye que la selección de la metodología de caracterización de tejidos –cortinas- es de fundamental importancia.

Palabras claves: iluminación natural, simulación dinámica, cortinas textiles, BSDF.

CHARACTERIZATION OF WOVEN SHADE-SCREEN MATERIAL IN DAYLIGHT SIMULATION

ABSTRACT.- The increasing importance gained by solar shading and light redirecting systems in the energy performance of buildings has led to the development of diverse innovative components. However, many of these components are placed in the market without adequate luminous characterization that allows their appropriate application. This can lead to visual discomfort situations and increased energy consumption. The objective of this research is to analyze the impact of different characterization methods of weaves that make up interior drapery curtains in dynamic daylight simulations (RADIANCE). Tested characterization methodologies are BSDF database, glass model and trans model. Results show important differences (RMSE > 90%) between studied methodologies. It is concluded that the selected characterization methodology of weaves – curtains- is of paramount importance.

Keywords: daylighting, dynamic simulation, BSDF, drapery curtains.

1. INTRODUCCION

La Agencia Internacional de Energía (*siglas en inglés IEA*), en su informe sobre perspectivas energéticas respecto a fachadas energéticamente eficientes, posiciona a los elementos de sombreado como una de las cinco estrategias fundamentales para disminuir los consumos de energía y alcanzar espacios interiores con confort térmico y lumínico (IEA, 2013). 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.

Habitualmente el comportamiento óptico de un sistema de control solar se caracteriza de acuerdo a los datos de transmitancia y reflectancia visible para la incidencia normal de la radiación solar. Esto puede conducir a una comprensión errónea del funcionamiento de los sistemas de aventamiento complejo (Chan et al., 2014). Por un lado, la incidencia normal no es siempre el ángulo de máxima permeabilidad de los sistemas de sombreado y control solar. Por otro lado, los elementos de control solar y sombreado

están expuestos a la radiación solar y por tanto a la dinámica de esta fuente, que en escasos momentos presenta incidencia normal respecto de los aventanamientos verticales donde se ubican los sistemas de sombreado. Por este motivo, el dato de incidencia normal no es el más representativo del comportamiento del sistema (Chan et al., 2014; Villalba, 2014).

A medida que avanzamos hacia edificios de alta eficiencia energética, es cada vez más importante ser capaz de modelar con mayor precisión no sólo la cantidad sino también la dirección del flujo luminoso transmitido a través de un sistema de ventanas. Con el fin de promover y mejorar el rendimiento de las tecnologías, actualmente se trabaja en el desarrollo de métodos de cálculo, herramientas y bases de datos que permiten caracterizar con mayor precisión el rendimiento óptico de los sistemas de control solar (Papamichael et al., 1988; Klems, 1994; Andersen y de Boer, 2006; McNeil et al., 2013; Villalba y Pattini, 2013). La figura 1 muestra estas nuevas capacidades de modelado

utilizan la función de distribución bidireccional de reflectancia (BRDF) o de transmitancia (BTDF) (ecuación 1) para caracterizar la transmisión y la reflexión angular de la luz a través de un dispositivo de sombreado. Estas distribuciones de luz saliente (transmitida y reflejada) se caracterizan para diferentes direcciones incidentes. Estos datos 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). El análisis dinámico bidireccional del comportamiento óptico de los sistemas de control solar nos permite analizarlos de manera global, contemplando las variaciones en el comportamiento fotométrico de los sistemas de acuerdo al ángulo de incidencia de la fuente. El análisis y la caracterización unidireccional pueden conducir a interpretaciones equívocas del funcionamiento particularmente en los sistemas de aventamiento complejo (Villalba, 2014; Chan et al., 2014).

$$BT(R)DF(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2) = \frac{L_2(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2)}{L_1(\theta_1, \phi_1) * \cos(\theta_1, \phi_1) * d\omega_1} = \frac{L_2(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2)}{E_1(\theta_1)} \left[\frac{cd}{m^2lx} \right]$$

(1)

donde (θ_1, ϕ_1) y (θ_2, ϕ_2) son las coordenadas polares del flujo luminoso incidente y transmitido; $L_1(\theta_1, \phi_1)$ y $L_2(\theta_2, \phi_2)$ son las luminancias de un elemento del flujo luminoso incidente y transmitido; $d\omega_1$ ángulo sólido subtendido por flujo de luz entrante y E_1 es la iluminancia en el plano de la muestra debido al flujo de luz incidente.

Las bases de datos de BSDF que caracterizan el comportamiento óptico de los sistemas de control solar, pueden posteriormente ser incorporadas a softwares de análisis de iluminación natural como RADIANCE (Ward y Shakespeare, 1998) –modelos estocásticos de trazado de rayos–, que permiten analizar dinámicamente el comportamiento lumínico del espacio –confort visual– y los consumos energéticos por iluminación artificial

complementaria. Sin embargo, generalmente los sistemas de sombreado tales como las cortinas textiles interiores, se caracterizan como elementos transparentes o translúcidos con transmitancia visible reducida. Esto se debe principalmente a dos causas, por un lado, no existen bases de BSDF para la caracterización del comportamiento óptico de todos los sistemas de control solar disponibles en el mercado y, por otro lado, no todos los simuladores de iluminación natural aceptan esta información como dato de ingreso o *input* para caracterizar componentes en la simulaciones de iluminación natural dinámica (DIVA for Rhino (Design Iterate Validate Adapt), DAYSIM, EnergyPLUS, entre otros).

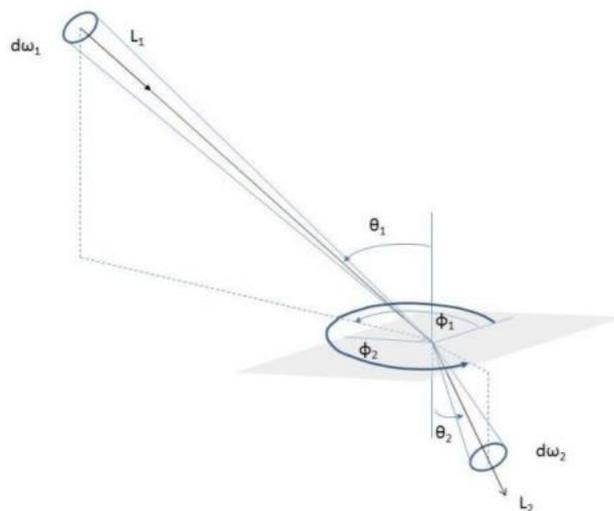


Fig.1: Gráfico de la geometría de la BSDF. (θ_1, ϕ_1) son las coordenadas polares del flujo luminoso incidente; (θ_2, ϕ_2) son las coordenadas polares del flujo luminoso transmitido; $L_1(\theta_1, \phi_1)$ luminancia de un elemento producto del flujo luminoso incidente; $L_2(\theta_2, \phi_2)$ luminancia de un elemento producto del flujo luminoso transmitido; $d\omega_1$ ángulo sólido subtendido por flujo de luz entrante; $d\omega_2$ ángulo sólido subtendido por flujo de luz saliente.

En nuestra región las cortinas interiores son sistemas de control solar (SCS) ampliamente utilizados para controlar el ingreso de la radiación solar directa en los espacios interiores (Villalba et al., 2012). Sin embargo estos sistemas son complejos de caracterizar en su comportamiento lumínico 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). En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar el impacto de diferentes metodología de caracterización del material que conforman las cortinas textiles interiores (vidrio + textil) en simulaciones dinámicas de iluminación natural. Las metodologías de caracterización analizadas son: base BSDF, modelo de vidrio o *glass* y modelo de material translucido o *trans*.

un vidrio claro de 3mm de espesor. El textil seleccionado para el análisis de su comportamiento es el Soltis 93 - Sand (fabricante Ferrari Textiles Corporation) (figura 2), cuyas propiedades se detallan en la tabla 1 (OPTICS, 2013; Serge Ferrari, 2012).

El vidrio seleccionado para el estudio es un vidrio simple claro de 3mm de espesor cuyas características y curva de selectividad espectral se detallan en la tabla 2 y figura 3, respectivamente. Las características ópticas del vidrio se importaron mediante un archivo rad que genera el software OPTICS como output, donde se encuentra la descripción del material de acuerdo a los parámetros solicitados por los software RADIANCE –software donde se ejecutaran las simulaciones de iluminación natural-.

2. CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio se analiza la combinación de un tejido interior con un factor de apertura de un 5% combinado con

Tabla 1: Propiedades térmicas y ópticas del textil Soltis 93–Sand.

Textil Soltis 93–Sand	Propiedades térmicas y ópticas		
	FAE	Factor de apertura efectivo	0.05
	e (mm)	Espesor	0.45
	peso (g/m²)	Peso	420
	k (W/mK)	Conductividad térmica	0.15
	E_f - E_p	Emisividad frontal - Emisividad posterior	0.837
	TIR	Transmitancia en el espectro infrarrojo	0.074
	TS	Transmitancia en el espectro solar	0.14
	RS	Reflectancia en el espectro solar	0.48
	AS	Absortancia en el espectro solar	0.38
	TV n-h	Transmisión de luz visible normal-hemisférica en %	0.11
	TV n-n	Transmisión de luz visible normal-normal en %	0.06
	FSe	Factor solar exterior	0.11
	FSi	Factor solar interior	0.41

Fig. 2: Imagen del tejido seleccionado para el estudio: Soltis 93 - Sand.

Tabla 2: Propiedades ópticas del vidrio claro de 3mm seleccionado. Reflectancia visible (RV).

e (mm)	TS	RS _{frontal}	RS _{posterior}	TV	RV _{frontal}	RV _{posterior}	TIR	E _f	E _p
3.0	.834	.075	.075	.899	.083	.083	.000	.840	.840

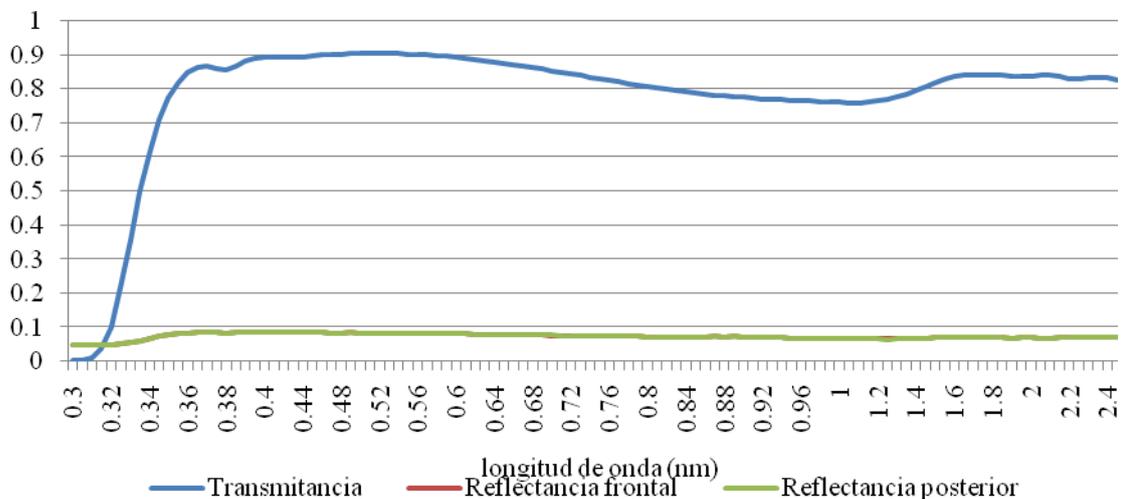


Fig. 3: Gráfica que muestra la selectividad espectral del vidrio claro de 3mm seleccionado.

Los tres métodos de caracterización del textil analizados son los siguientes:

- *Base de dato BSDF*: la CGDB (Complex Glazing Data Base (LBNL-CGDB, 2014))Version 1.2. es una nueva base de datos de propiedades ópticas de sistemas de aventanamiento complejo, tales como sistemas de sombreados y materiales (venecianas, cortinas roller, tejidos), materiales que redirigen la luz (láminas prismáticas, etc.) y vidrios difusores (vidrio esmerilado, vidrio decorativo, etc.). El concepto de sistemas de aventanamiento complejo (del inglés: complex fenestration systems (CFS)) abarca todos los componentes de los sistemas de aventanamiento que no presentan transmitancia especular, incluido las capas que proveen sombra, como las cortinas de tela, los sistemas de estantes de luz y de mallas metálicas, y capas que mejoran la iluminación natural interior, como los sistemas de louvers espejados o las películas reflectivas prismáticas (McNeil et al, 2013).
- *Modelo de vidrio o glass*: al igual que para el vidrio claro de 3 mm las características ópticas de un vidrio de transmitancia visible 0.102 se importaron a partir de un archivo (*.rad) que genera el software OPTICS como *output* donde se encuentra la descripción del material de

acuerdo a los parámetros solicitados por el software RADIANCE (tabla 3).

- *Modelo de material translúcido o trans* (Reinhart y Andersen, 2006): estos materiales son similares a los plásticos. Al igual que los polímeros involucran los parámetros de reflectancia RGB, rugosidad, reflectancia especular, a los que se agregan la transmitancia especular y la transmisividad (transmissivity) (LBNL, 2017). Los objetos translúcidos son infinitamente delgados. La componente especular transmitida es la fracción de luz transmitida que no se esparce difusamente, mientras que la transmisividad es la fracción de luz que penetra, luego de atravesar todo el material. Es decir, la transmisividad es la cantidad de luz que atraviesa el material y no es absorbida por el mismo. El valor de TV por lo general es la transmitancia global, que involucra la transmitancia especular y la transmisividad –transmitancia difusa-.

Para calcular la transmisividad (tn) a partir de la transmitancia (Tn) se emplea la ecuación 2 (DIVA, excel transmissivity converter, 2014):

$$tn = \frac{\text{sqrt.}(0.8402528435 + 0.0072522239 * Tn * Tn) - 0.9166530661}{0.0036261119} / Tn \tag{2}$$

Tabla 3: Caracterización de los materiales empleados en la simulación.

Material	Modelo	Caracterización
Vidrio (glass)	mod glass id	void glass GH_default_glass
	0	0
	0	0
	3 rtn gtn btn	3 0.102 0.102 0.102
Translúcidos (trans)	mod trans id	void trans GH_default_trans
	0	0
	0	0
	7 red green blue spec rough trans tspec	7 0.5 0.5 0.5 0.05 0.1 0.052 0.05

3. MÉTODO

La metodología de trabajo está dividida en dos etapas principales: simulación dinámica de iluminación natural y análisis estadístico de los datos.

3.1. Simulación Dinámica de Iluminación Natural.

Definición del modelo. El espacio seleccionado corresponde a una oficina típica (6x4 m; h= 3 m) con ventana unilateral centrada respecto del muro (0,0) emplazado en la ciudad de Mendoza (Argentina) (32°53'00" S; 68°49'00" O). Se calcula la iluminancia horizontal para un área vidriada o *window to wall ratio* (%WWR) de un 30% (figura 4).

Modelo virtual. El modelo virtual 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., 2008). La caracterización fotométrica de los materiales del espacio interior de la sala, se realizó de acuerdo a los valores típicos de reflectancia difusa del 60% en paredes, del 80% en techo y del 30% en piso.

Parámetros de simulación. 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 y pos-procesadas en SageMath (*.sav). Los parámetros de simulación seleccionados corresponden a una escena simple con elementos translúcidos, transparentes y opacos (Mardaljevic, 2000): (ab) 5; (ad) 1000; (as) 100; (aa) 0.1; (ar) 300; (dt) 0; (ds) 0. Para la medición de los valores de iluminancia horizontal se dispuso en el modelo virtual una grilla de doce sensores elevados 0.8m por encima del piso, con una distribución de tres por cuatro nodos (figura 5).

Archivo de ocupación del espacio. Se creó un archivo de ocupación (*.cvs) para el cálculo de las métricas dinámicas centrándose en el uso del espacio todos los días de la semana, incluidos los fines de semana de 6:00 am a 8:00 pm (hora solar). Este período de ocupación seleccionado se definió de acuerdo con la disponibilidad de luz solar en la región en verano -el número máximo de horas con radiación solar-.

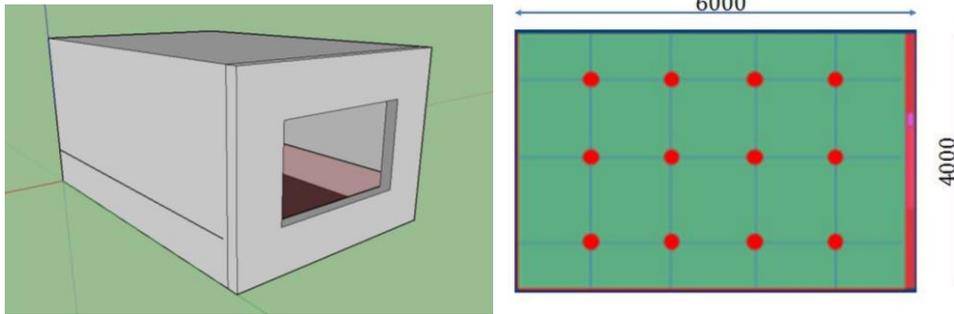


Fig. 4: Esquema del espacio analizado. Fig. 5: Grilla de nodos (sensores) de iluminancia horizontal (vista superior).

Archivo de clima. La ubicación seleccionada para el caso de estudio fue la ciudad de Mendoza (Argentina) (32°53' S; 68°49' O). Esta ciudad se encuentra ubicada al oeste de la República Argentina en una región semiárida, donde predomina el cielo claro, condición que ofrece el 83% del año días despejados o parcialmente despejados. Para este estudio fue utilizado el paquete climático ARG_Mza CCT (*.epw; *.wea), generado a partir de la información brindada por la estación de medición de Iluminación Natural del Instituto Nacional de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), ubicado en el Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CCT Mendoza) (32°53' S y 68°51' O) (Monteoliva et al., 2015).

3.2. Análisis estadístico de los resultados.

El estadístico empleado para desarrollar la comparación de los datos obtenidos con las diferentes metodologías de caracterización es el error de la raíz cuadrada de la media (*siglas en inglés* RMSE). Esto permite determinar la diferencia entre los valores de iluminancia obtenidos con la base BSDF y los obtenidos con el modelo de vidrio (glass) o modelo translúcido (trans). En una primera etapa se analiza de manera conjunta la iluminancia promedio anual de la grilla para cada uno de los modelos, luego se hace un análisis dinámico estacional, y finalmente se analiza el comportamiento particular del nodo 5 (nodo central, más próximo a la ventana) para un día típico durante la jornada en cada estación. El criterio de selección de este nodo como punto de análisis se debe a que por su posicionamiento es el más expuesto a la dinámica del sol, es decir a la variación en la incidencia de radiación solar visible directa y difusa.

4. RESULTADOS

La tabla 4 muestra los parámetros estadísticos del comportamiento anual promedio del espacio de acuerdo a las distintas condiciones. Como primera instancia podemos

observar un comportamiento similar de la base BSDF y el modelo de vidrio en los diferentes estadísticos, obteniendo por ejemplo en la media una diferencia menor al 4%, y en la mediana del 10%. Sin embargo, en los valores máximos observamos que se amplía esta diferencia (16%), sobrestimando el valor de iluminancia en primera instancia y generando que el modelo translúcido sea el más cercano al valor de referencia (BSDF) con una diferencia menor al 7.6%. Si focalizamos en el análisis de la condición BSDF podemos observar que la desviación estándar es elevada (D.E. 556lux), lo que nos indica que hay una elevada dispersión de los valores de iluminancia respecto a la media, esto se manifiesta en los valores máximos y mínimos que presenta la muestra.

La figura 6 muestra el gráfico de distribución de frecuencia que permite comprender porque la D.E. es elevada (556lux). Si bien la mayor parte de los valores de iluminancia se encuentra por debajo de los 180 lux (88%) y un 98.57% se ubican por debajo de los 3000lux, hay un 0.46% de los valores que ubican por encima de 5000lux.

Estos últimos, corresponden a condiciones donde incide luz solar directa. Es de fundamental importancia que la caracterización del material que conforma los sistemas de sombreado tenga la capacidad de revelar aquellas situaciones donde los valores de iluminancia son elevados – radiación solar visible directa-, debido a que son estas situaciones donde se deben tomar medidas complementarias dado que representan riesgo de malestar visual.

Como segunda instancia, se analizaron comparativamente los resultados obtenidos con las distintas metodologías, tomando como modelo de referencia la base BSDF:

Tabla 4: Parámetros estadísticos del comportamiento anual promedio para cada condición analizada. Los parámetros estadísticos se encuentran en lux.

Método de Caracterización	n	Media	Mediana	Mínimos	Máximos
Base BSDF	65700	149 (D.E. 556)	48	0	11408
Modelo de vidrio	65700	143 (D.E. 580)	43	0	13594
Modelo translúcido	65700	45 (D.E. 315)	7	0	10531

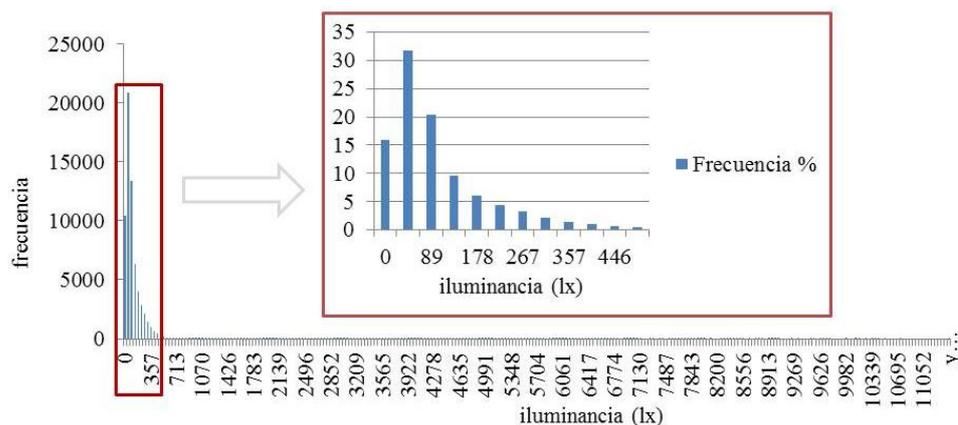


Fig. 6: Histograma de los valores de iluminancia obtenidos mediante simulación de acuerdo a la condición BSDF.

4.1. Base BSDF vs modelo de vidrio o glass.

Aunque los parámetros estadísticos (tabla 5) indican que la base BSDF y el modelo *glass* se comportan de manera semejante, el RMSE anual es del 95%. En un análisis más detallado –estacional- detectamos que el RMSE más elevado se presentan en la estación de invierno (2.24 RMSE), es menor para la media estación (.85 RMSE) y casi despreciable para la estación estival (.05 RMSE) (tabla 5). A partir del análisis del comportamiento del nodo cinco en un día típico para cada estación (figura 7, 8 y 9) podemos detectar que la marcada diferencia en el comportamiento de ambas metodologías para la estación de invierno (figura 7) se debe a la variación que presentan respecto a la transmitancia de la radiación solar directa. Esto no solo se

evidencia en los valores de iluminancia máximos (7074 lux para el modelo *glass* y 4353 lux para la base BSDF), sino también en la variación de su permeabilidad a la radiación visible de acuerdo al ángulo de incidencia de la fuente de luz, lo que se evidencia al obtener picos máximos es distintos horarios. La diferencia en el comportamiento disminuye en la media estación (tabla 5, figura 7) debido a que en ésta la altitud solar es más elevada y la iluminancia interior es menos dependiente a la permeabilidad y a la radiación solar directa del material que conforma la cortina. Finalmente, detectamos que para la estación estival el RMSE es de 5%, lo que se explica debido a la elevada altitud solar que presenta el sol en el horario en el cual incide sobre las aberturas orientadas al norte.

Tabla 5: RMSE Base BSDF vs Modelo de vidrio o glass (anual, media estación, verano e invierno).

RMSE	Anual	Media Estación	Verano	Invierno
Base BSDF vs Modelo de vidrio o glass	0.95	0.85	0.05	2.24

4.2. Base BSDF vs Modelo de material traslúcido o trans.

En términos generales observamos que el comportamiento anual de la condición *trans* presenta valores de iluminancia muy reducidos respecto a la condición BSDF (figura 7, 8 y 9; tabla 4).

El RMSE anual (tabla 6) es menor que el que presenta la condición *glass*, asimismo es relativamente constante para todas las estaciones. Esto evidencia que no hay una fuerte relación de dependencia entre el ángulo de incidencia de la fuente y la transmitancia del sistema de sombreado. Los parámetros estadísticos analizados (tabla 4 y 6) y los gráficos que muestran el comportamiento del sensor 5 para un día típico de cada estación (figura 6, 7 y 8) evidencian que para esta condición la diferencia en el comportamiento se debe a la baja transmitancia visible tanto difusa como directa del sistema de sombreado, debido a que no hay una acentuada diferencia en el comportamiento causada por el horario ni por la estación en la cual se analiza el comportamiento del sistema.

5. CONCLUSIÓN

A partir del análisis realizado en este trabajo podemos concluir que la metodología de caracterización de los tejidos que conforman las cortinas interiores, para simulaciones de

iluminación natural dinámica, es de fundamental importancia. En un análisis anual detectamos que puede existir un RMSE de hasta 95%, lo cual implican un comportamiento lumínico de un espacio significativamente diferente. Resulta interesante destacar que las diferencias en los comportamientos entre la metodología BSDF y el empleo del modelo *glass* o *trans* no se deben a las mismas causas. Por un lado, detectamos que la mayor diferencia en el modelo *glass* está dada para aquellas situaciones donde incide radiación solar visible directa sobre la abertura. Esto es lógico debido a que este modelo está desarrollado para representar el comportamiento de un vidrio, que es un material transparente. Por otro lado, las diferencias entre la caracterización BSDF y la del modelo *trans* se debe a la baja transmitancia –directa y difusa- que presenta el sistema de sombreado al caracterizarse con esta metodología. Si bien inicialmente los parámetros que requiere este modelo de input -transmisividad y transmitancia especular- sugieren que pueden representar adecuadamente el comportamiento de un tejido, en este estudio emplear esta caracterización representa un RMSE de 73%.

Con respecto al modelo *trans*, se prevé en futuros estudios avanzar sobre su comportamiento y adecuación de los valores de transmisividad y transmitancia especular para mejorar su representación como tejido. Este modelo, a

diferencia del modelo *glass*, si presenta un comportamiento respecto a la distribución de la luz más próximo al de una matriz BSDF y es elocuentemente más sencillo de generar. En esta línea y como parte de estudios actualmente en ejecución, se puede observar también como el modelo

empleado de caracterización puede generar diferentes distribuciones de la luz natural al ingresar a un espacio interior (figura 10); siendo esto fundamental en los estudios de luminancias e indicadores -como el *deslumbramiento*-.

Tabla 6: RMSE Base BSDF vs Modelo de vidrio o *glass* (anual, media estación, verano e invierno).

RMSE	Anual	Media Estación	Verano	Invierno
Base BSDF vs Modelo de traslúcido o <i>trans</i>	0.73	0.78	0.59	0.77

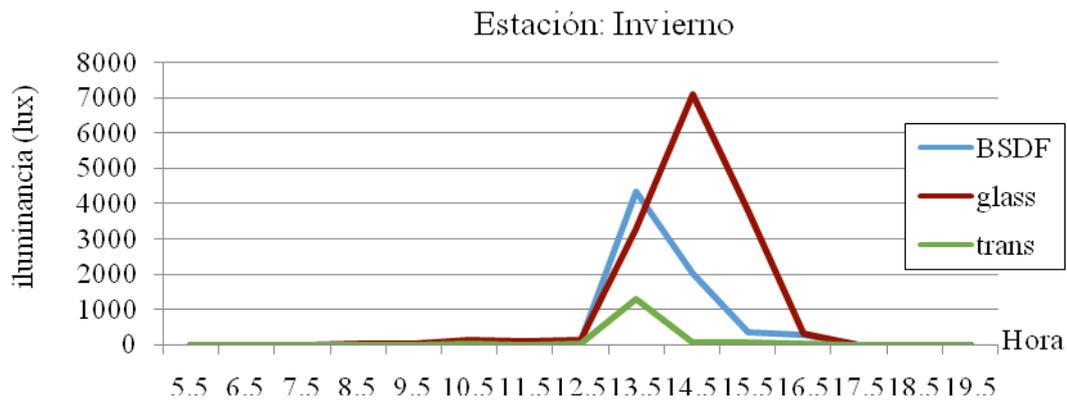


Fig. 7: Gráfica de línea que muestra los valores de iluminancia en el nodo 5 para un día típico de invierno.

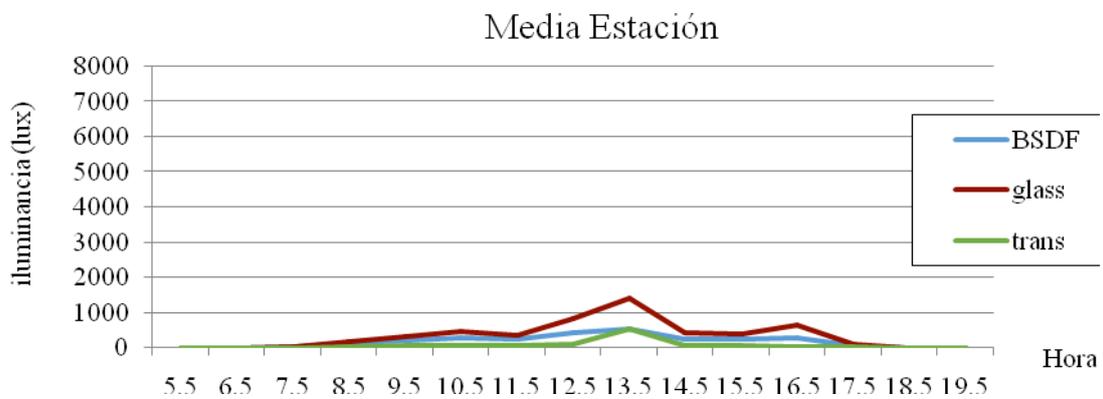


Fig. 8: Gráfica de línea que muestra los valores de iluminancia en el nodo 5 para un día típico de media estación.

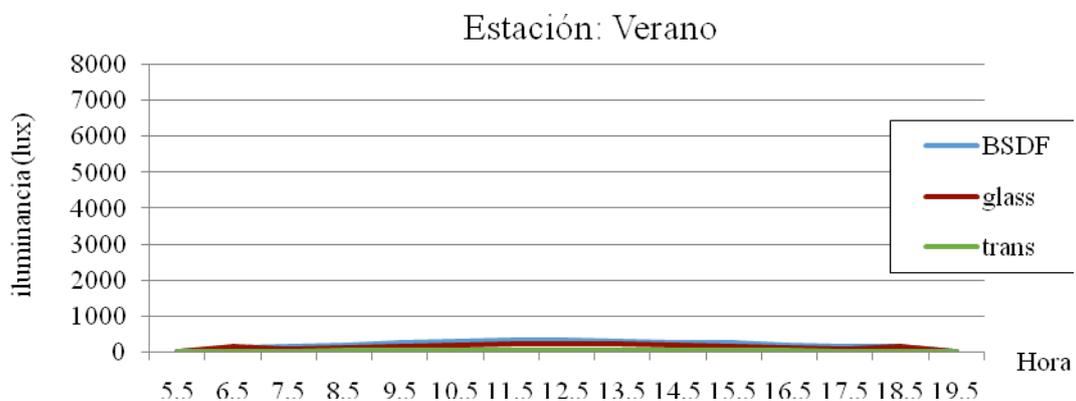


Fig. 9: Gráfica de línea que muestra los valores de iluminancia en el nodo 5 para un día típico de verano.

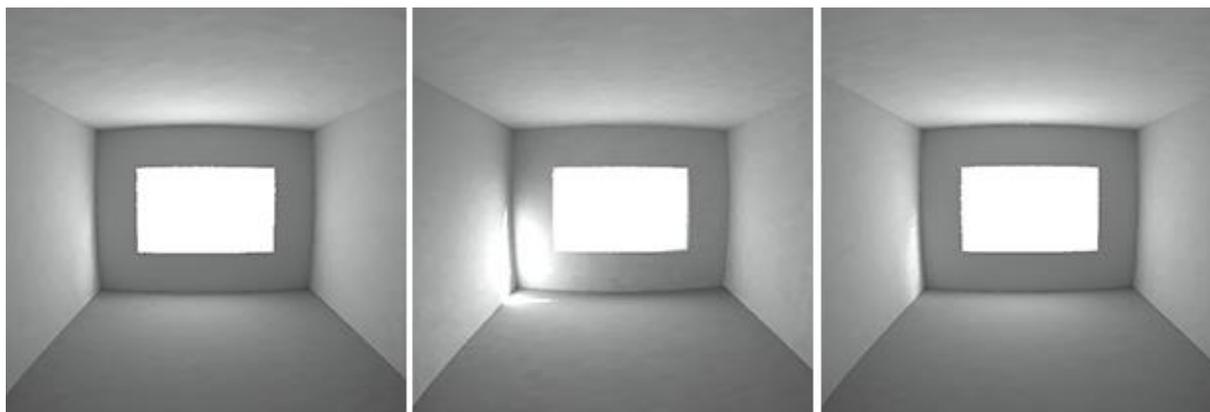


Fig. 10: Imágenes HDR de la caracterización con base BSDF, modelo glass y modelos trans, para un día típico (21/03) a las 10:00 am (Mendoza, Argentina).

Finalmente los autores de este trabajo consideran evaluar el impacto de las distintas caracterizaciones de los tejidos en otros aspectos tales como la temperatura de color correlacionada, debido a que por ejemplo en los materiales *trans* la luz transmitida y reflejada difusamente se modifica de acuerdo al color del material.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas - CONICET (PIP 2014-2016 G1: Análisis dinámico del acceso y control de la luz solar en el hábitat de climas soleados. Aspectos tecnológicos - energéticos y usabilidad). Al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT); Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (PICT 2013-2089: iluminación natural en el hábitat de clima soleado. Usabilidad de sus espacios y estudio de la radiación solar visible en interacción con el ambiente urbano, edificio y sus sistemas constructivos).

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.
- 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.
- Chan, Y.C., Tzempelikos, A., Protzman, B. (2014). Solar Optical Properties of Roller Shades: Modeling Approaches, Measured Results and Impact on Energy Use and Visual Comfort. 3rd International High Performance Buildings Conference, West Lafayette, Indiana. En: Proceedings 3rd International High Performance Buildings Conference. Paper 124.
- Christoph F. Reinhart, Marilyne Andersen (2006). Development and validation of a Radiance model for a translucent panel, *Energy and Buildings*, **38**, 7, 890-904.
- International Energy Agency (IEA). (2013). Technology Roadmap Energy Efficient Building Envelopes. Paris, France.
- 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. *Optics + Photonics*, 7065: 70650R-70650R-11. International Society for Optics and Photonics.
- 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.
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), (2014). Complex Glazing Database, Version 1.2.
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), (2017). The RADIANCE 4.2 Synthetic Imaging System. Recuperado de: <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/ray.html#Materials>.
- Mardaljevic J. (2000). *Daylight simulation: Validation, sky models and daylight coefficients*. PhD thesis. Leicester, UK: de Montfort University.
- 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. *Solar Energy*, **98**: 404-414.
- Molina, G., Vera, S., Bustamante, W. & Bleicher, T.. (2008). Groundhog - SketchUpExtension for exporting Radiance models. Recuperado de <https://extensions.sketchup.com/en/content/groundhog>.
- Monteoliva J.M., Villalba A., Pattini A. E. (2015). Variability in dynamic daylight simulation in clear sky condition according to selected weather file: Satellite data and land-based station data. *Lighting Research and Technology*. DOI: 1477153515622242.
- OPTICS 6.0. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). (2013). Recuperado de <https://windows.lbl.gov/software/optics/optics.html>
- 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.
- Ruck, N., Aschehoug, O., Aydinli, S., Christoffersen, J., Courret, G., Edmonds, I., Jakobiak, R., Kischkowitz-Lopin, M., Klinger, M., Lee, E., Michel, L., Scartezini, 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. Serge Ferrari, (2012). Catalogo Soltis 93.
- Villalba, A. (2014). Control de luz solar directa en la envolvente edilicia en climas soleados. Su impacto en el consumo diurno de energía eléctrica para iluminación en edificios no residenciales de ciudad oasis. *Tesis doctoral*. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. San Miguel de Tucumán.
- Villalba, A., Pattini, A. (2013). Caracterización óptica de sistemas de control solar. Metodología dinámica bidireccional. En: Luz 2013, XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia. Nuevas tecnologías para nuevos desafíos en iluminación. AADL. Tucumán.
- Ward LG, Shakespeare R. (1998). *Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.