XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO LUMÍNICO DE CORTINAS ROLLER BAJO CONDICIONES DE CIELO CLARO.

Ayelén Villalba (1); Julieta Yamín (2); Andrea Pattini (3); Raúl Mercado (4)

(2) PhD, Diseñadora Industrial, avillalba@mendoza-conicet.gob.ar, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT Mendoza – CONICET, Av. Adrián Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza, Argentina, +542615244300.

(3) PhD, Diseñadora Industrial, jyamin@mendoza-conicet.gob.ar, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT Mendoza – CONICET, Av. Adrián Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza, Argentina, +542615244300.

(4) PhD, Diseñadora Industrial, apattini@mendoza-conicet.gob.ar, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT Mendoza – CONICET, Av. Adrián Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza, Argentina, +542615244300.

(5) Técnico Principal, hmercado@mendoza-conicet.gob.ar, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - CCT Mendoza – CONICET, Av. Adrián Ruiz Leal s/n, Parque General San Martín, Ciudad, Mendoza, Argentina, +542615244300.

RESUMEN

Una de las maneras más eficientes de reducir el consumo de energía eléctrica, en el sector edilicio, es tomar ventaja de la fuente natural gratuita de iluminación llamada luz del día, particularmente en espacios de uso diurno. Sin embargo, el potencial de ahorro energético y de confort visual depende de cómo la luz natural ingresa al espacio interior y esto está determinado principalmente por los sistemas de sombreado y control solar. En Argentina, la mayor parte de los sistemas de sombreado o control solar que se utilizan no han sido caracterizados en su comportamiento lumínico. La incorrecta implementación de sistemas de aventamientos complejos puede resultar en perjuicios en relación al confort visual como en incrementos de los consumos de energía. En este marco, el presente trabajo tiene por objetivo proponer y testear una metodología de medición de precisión e integral para la determinación del impacto de las cortinas textiles interiores en el factor de iluminación en espacios interiores bajo condiciones de cielo soleado. La propuesta metodológica involucra avances en los siguientes aspectos: (1) caracterización precisa de las propiedades ópticas de todos los elementos involucrados en la escena; (2) propuesta de estudio integral, que incorpora al análisis de deslumbramiento y distribución de la luz los parámetros de color -TCC, IRC, intensidad de acuerdo a la longitud de onda-; (3) adecuación de la metodología al contexto de cielo claro.
Palabras chave: Iluminación natural, metodología de caracterización, cortinas roller.

ABSTRACT

One of the most efficient ways to reduce the consumption of electricity, in the building sector, is to take advantage of the natural source of free lighting called daylight, particularly in daytime spaces. However, the energy saving and visual comfort potential depends on how natural light enters through the opening and this is mainly determined by shading and solar control systems. In Argentina, most of the shading and solar control systems used have not been characterized in their luminous behavior. The incorrect implementation of complex shading devices may lead to problems with respect to visual comfort and increased energy consumption. Within this framework, the objective of this paper is to propose and test a comprehensive and integral methodology for daylight performance measurement of interior roller curtains under clear sky conditions. The methodological proposal involves improvements in the following aspects: (1) detailed optical properties characterization of all the elements involved in the scene; (2) comprehensive study, which adds to daylight glare and distribution studies the analysis color parameters -CCR, CRI, and intensity according to the wavelength-; (3) adaptation of the methodology to clear sky conditions.
Keywords: Daylighting, characterisation methodology, roller shades.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las maneras más eficientes de reducir el consumo de energía eléctrica, en el sector edilicio, es tomar ventaja de la fuente natural gratuita de iluminación llamada luz del día (BODART et al., 2008), particularmente en espacios de uso diurno. El empleo de iluminación natural vinculado con controles de iluminación artificial ha revelado, en estudios de campo, ahorros energéticos de entre un 25 y un 60% (LI, 2010; BARDHAN y DEBNATH, 2016). El uso de iluminación natural en edificios, además de resultar en importantes ahorros de energía eléctrica, puede mejorar la calidad del espacio interior (ATHIENITIS y TZEMPELIKOS, 2002; RODRÍGUEZ, 2012). Sin embargo, el potencial de ahorro energético y de confort visual depende de cómo la luz natural ingresa al espacio interior y esto está determinado principalmente por los sistemas de sombreado y control solar.

La IEA (International Energy Agency) 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 control solar y sombreado deben aumentar los niveles de iluminación 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 han insertado en el mercado sin una adecuada caracterización lumínica-energética que permita su correcta aplicación en relación al clima regional. En Argentina la mayor parte de los sistemas de sombreado o control solar que se utilizan no han sido caracterizados en su comportamiento lumínico. La incorrecta implementación de 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, para controlar el ingreso de la radiación solar directa en los espacios interiores (VILLALBA et al., 2012). 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), por lo que actualmente se aplican en edificios sin conocer su comportamiento lumínico-energético.

El diseño de las fachadas para el adecuado uso y control de la radiación solar visible es particularmente importante en ciudades donde predomina el cielo claro (Mendoza, Argentina). En estas regiones la iluminación natural posibilita revertir parcialmente el consumo de energía de los sistemas de iluminación artificial, y hasta en algunos casos prescindir del mismo (BODART y DE HERDE, 2002).

Para avanzar sobre la caracterización del comportamiento lumínico de los sistemas de control solar son fundamentales los estudios de iluminación natural, tanto desde la perspectiva energética como desde la calidad de iluminación del espacio. En este sentido resulta altamente necesario desarrollar y aplicar metodologías de medición en modelos a escala y en espacios reales, mediante equipos de sensores y técnicas basadas en análisis de imágenes (KIM, JT. y KIM, G., 2010; YUN et al., 2014; INANICI, 2013; KARAGIANNI et al., 2016). Se espera que el uso de estas herramientas pueda apoyar la rápida adopción de sistemas de sombreado y control solar por parte de la industria de la construcción.

2. OBJETIVO

En este marco, el presente trabajo se propone producir conocimiento en torno al comportamiento lumínico de componentes de la envolvente edilicia, con el propósito de contribuir al diseño y la aplicación de soluciones tecnológicas exitosas que antepongan las necesidades humanas. Siendo su objetivo proponer y testear una metodología de medición de precisión e integral -confort visual, visibilidad y color- para la determinación del impacto de las cortinas textiles interiores en el factor de iluminación en espacios interiores bajo condiciones de cielo soleado.

Disponer de la correcta caracterización del comportamiento lumínico de las cortinas textiles interiores le permite a la industria y el sector de comercialización de los sistemas de control solar ingresar al mercado de la arquitectura sostenible. Asimismo, el estudio del comportamiento ambiental de la luz, de acuerdo a las condiciones climáticas específicas permite: (1) desarrollar sistemas de cortinas que optimicen la calidad visual de los espacios y generen disminuciones en los consumos de energía; (2) a los proyectistas realizar una correcta implementación de los sistemas de sombreado con consecuentes ahorros de energía mientras que se asegura un adecuado acondicionamiento visual de los espacios interiores; (3) a los usuarios la toma de decisión informada sobre la disponibilidad real de luz natural según el tipo de cortinas a adquirir.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1. Medición en espacio real.

Los experimentos se desarrollaron en el box de ensayos experimentales del INAHE (Mendoza, Argentina, 32 53´42"S 68 52´32"O) (Figura 1). 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 2). Cada una de las salas presenta una abertura de 1m por 1m donde se colocan las distintas muestras bajo estudio. Resulta adecuado explicitar que la abertura no se encuentra exactamente centrada respecto al recinto donde se realizan las mediciones. La abertura está orientada al norte para el desarrollo de este estudio. El box se ubica en un área sin presencia de construcciones ni forestales, por esto el acceso de sol es pleno.



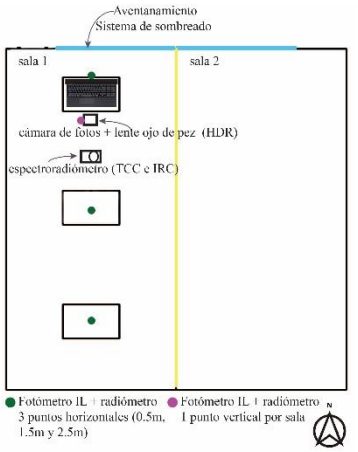


Figura 1 – Interior y exterior del box de ensayos experimentales. Figura 2 - Disposición de equipamiento en el interior del box (Laboratorio de ensayos experimentales).

3.2. Registro de las propiedades ópticas de los materiales que conforman el recinto.

3.2.1. Caracterización de la reflectancia de las principales superficies interiores.

La reflectancia en este estudio se determina mediante la metodología propuesta por Fontoynont (1999). Este método permite cuantificar la reflectancia de materiales bajo condiciones de luz difusa. El instrumental empleado para la caracterización es un luminancímetro (Minolta LS100). La reflectancia hemisférica-hemisférica (ρ_{hh}) de materiales se calcula mediante las ecuaciones 1, 2 y 3, a partir del registro de la luminancia de la superficie ($L_{superficie}$), cuya reflectancia se desea calcular, y de las luminancias de una cartilla de referencia blanca (L_{blanca}) y una gris (L_{gris}) – de reflectancia conocida (ρ_{blanca} y ρ_{gris})-, ambas mediciones se realizan in-situ con luminancímetro.

$$\rho_1 = \rho_{blanca} * \frac{L_{superficie}}{L_{blanca}} \quad \text{Ecuación 1} \qquad \rho_2 = \rho_{gris} * \frac{L_{superficie}}{L_{gris}} \quad \text{Ecuación 2} \qquad \rho_{hh} = \frac{\rho_1+\rho_2}{2} \quad \text{Ecuación 3}$$

3.2.2. Caracterización de las coordenadas de color de las principales superficies interiores.

Asimismo, se efectúan mediciones de coordenadas de color, para cada una de las superficies interiores, con colorímetro COLORMUSE, que combina un sensor colorimétrico con una fuente de luz led. Este equipo permite determinar el color de una superficie en los siguientes formatos: CIE Lab, LCH, sRGB y HEX.

3.3. Caracterización óptica de superficies transparentes y traslúcidas

3.3.1. Caracterización óptica del vidrio.

Las características ópticas del vidrio se obtienen del software OPTICS6, este software dispone de la IGDB (International Glazing Data Base).

3.3.2. Caracterización óptica de la cortina roller interior.

Los valores de transmitancia y reflectancia espectral difusa (sin componente especular) se medirán en un espectrofotómetro OPTRONIC (rango de medición: 330-1598 nm / intervalo de medición: 4 nm).

3.4. Monitoreo de las condiciones de cielo exterior.

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.)

3.5. Visibilidad y distribución.

Los registros de visibilidad y distribución se realizaron mediante la cuantificación de los niveles de iluminancia horizontal sobre plano de trabajo (80 cm de altura), registrados en distintos puntos (3) de la sala de estudio. Estos registro se desarrollaron con un radiómetro IL 1700, con un multiplexor modelo A415 y 4 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 2 se esquematiza la distribución y disposición del equipamiento.

3.6. Deslumbramiento.

Para calcular el deslumbramiento se emplearon mapeos de luminancia a partir de imágenes fotográficas de alto rango dinámico (HDR del inglés High Dynamic Range). Las HDR se componen a partir de 8 imágenes fotográficas de bajo rango dinámico (LDR del inglés Low Dynamic Range) tomadas con una cámara Nikon Coolpix 5400 calibrada, con lente ojo de pez Nikon FC-E9. Cada LDR se tomó posicionando la cámara en un trípode (1.2 m de altura), simulando la altura promedio del nivel del ojo de un ocupante, a 0.5 m del aventanamiento. Asimismo, la cámara de fotos está ubicada frente al monitor de una computadora portátil a una distancia de 0.4 m, que presenta en la pantalla un exitancia luminosa típica de trabajo de oficina. En la Figura 2 se muestra la ubicación de la cámara de fotos. Los registros fotográficos se realizaron cada 60 minutos: 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00. Para calibrar las imágenes HDR se efectuaron registros de luminancia con un luminancimetro “Minolta LS100” y se realizaron 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.

Las imágenes (8) LDR son seleccionadas de un total de 18 LDR, contemplando que la LDR más clara debe tener un 1% de pixeles negros y la imagen más oscura debe tener un 1% de píxeles blancos. Las 8 LDR son procesadas en “Photoesphere” para obtener la HDR final. El porcentaje de error del método HDR es menor a un 10% (INANICI, 2006). Posteriormente estas imágenes son procesadas con el software Evalglare (WIENOLD y CHRISTOFFERSEN, 2006), el cual ejecuta el cálculo de deslumbramiento. A través de las HDR se calcularon cuatro métricas de deslumbramiento, que mostraron ser las métricas más robustas según un estudio publicado recientemente (WIENOLD, 2018): 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 (Ev), 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 (Lavg.). 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). Esta métrica calcula el deslumbramiento basándose en efecto de contraste y saturación.

3.7. Parámetros de color.

Los parámetros de color se registraron con un espectroradiometro modelo ILT 350 Chroma Meter. Dicho equipamiento se ubica en posición horizontal (1 m de altura) sobre un trípode en el centro de la sala. Los parámetros registrados son: temperatura de color correlacionada [°K]; intensidad de la iluminación de acuerdo a la longitud de onda [nm]; índice de reproducción de color (0 a 100): valor promedio (CRI Ra).

4. RESULTADOS

4.1. Caso de estudio.

Como caso de estudio se analiza un tejido interior blanco con un factor de apertura (FA) de un 3%. El textil seleccionado para el análisis de su comportamiento es uno de los más comercializados a nivel local, sus propiedades se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: características del textil seleccionado: screen 4301.

Código	*tipo de tejido*	*color*	*FA (%)*	*material*	*peso (gr/m²)*	*TV*
4301	screen	blanco	3	poliéster	450	0.21

4.2. Propiedades ópticas de los materiales que conforman los recintos.

4.2.1. Caracterización de la reflectancia de las principales superficies interiores.

La Tabla 2 muestra los valores de reflectancia hemisférica-hemisférica (ρhh) de las principales superficies interiores del recinto donde se realizó la medición: pared, piso, techo y muro divisor interno. Asimismo, en la misma se observan los valores de luminancia de la superficie bajo análisis (Lsup) y los valores de luminancia y reflectancia de la cartilla blanca (Lblanca, ρblanca) y de la cartilla gris (Lgris, ρgris), necesarios para el cálculo dela reflectancia de las superficies que conforman el espacio.

4.2.2. Caracterización de las coordenadas de color de las principales superficies interiores.

En la Tabla 2 se observan los valores de las coordenadas de color (R, G y B) de cada una de las superficies interiores.

Tabla 2: valores de reflectancia hemisférica-hemisférica (ρhh) y coordenadas de color (RGB) de las principales superficies interiores.

material	Lsup	Lblanca	Lgris	ρ blanca	ρ gris	ρ1	ρ2	ρhh	R	G	B
pared	539	431	114	87	18	109	85	**97**	**254**	**255**	**250**
piso	24	205	50	87	18	10	9	**9**	**94**	**91**	**83**
techo	10	123	37	87	18	7	5	**6**	**68**	**71**	**68**
muro divisor	213	163	50	87	18	114	77	**96**	**215**	**217**	**219**

4.3. Caracterización óptica de superficies transparentes y traslúcidas

4.3.1. Caracterización óptica del vidrio.

El vidrio seleccionado para el estudio es un vidrio simple claro de 4mm de espesor cuyas características y curva de selectividad espectral se detallan en la Tabla 3 y Figura 4, 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 3: 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

4.3.2. Caracterización óptica de la cortina roller interior.

En la Figura 5 se observa la curva de reflectancia de la muestra 4301 en un rango espectral de los 330 nm a los 1598 nm.

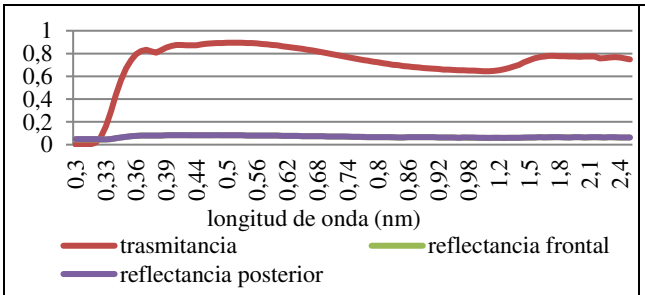


Figura 4 - Gráfica que muestra la reflectancia y transmitancia espectral del vidrio claro de 6mm seleccionado.

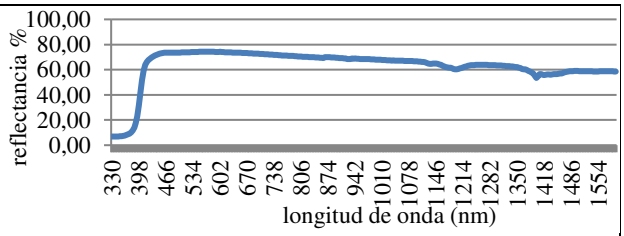


Figura 5 – Reflectancia espectral cortina roller 4301.

4.4. Monitoreo de las condiciones de cielo exterior.

La Figura 6 muestra los valores de irradiancia global y difusa para los días en que se realizaron las mediciones: sin sistema de sombreado (12-04-19) y con 4301 (10-04-19). Se observa que ambas situaciones corresponden a días 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).

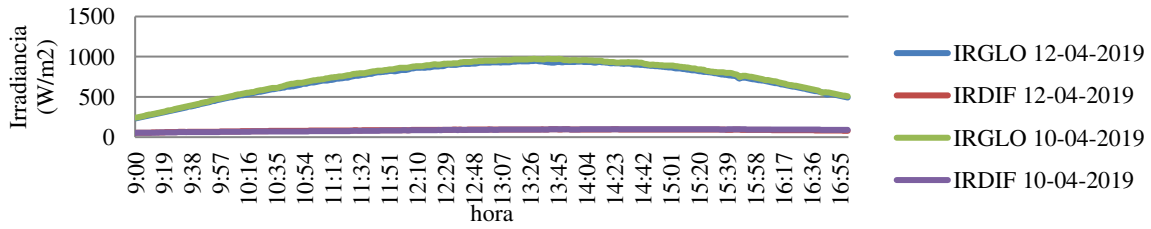


Figura 6 - Curvas irradiancia global y difusa hora a hora para las fechas en que se realizaron las mediciones.

4.5. Visibilidad y distribución.

Del análisis de las gráficas de iluminancia horizontal (Eh) hora a hora (Figura 7 y 8) podemos observar que la implementación del sistema de sombreado (cortina roller 4301) reduce significativamente los valores de Eh en el interior del recinto en los tres puntos analizados. En el punto 1 –más alejado de la ventana- la reducción es en promedio de un 57%, con valores máximos de reducción de un 75%. En el nodo 2 –intermedio- la disminución promedio de la Eh es de un 51%, alcanzando en algunas situaciones un máximo de 81%. El punto más próximo al aventanamiento presenta una reducción promedio de los valores de Eh de un 69%. En este nodo resulta de interés destacar que el 46% del tiempo analizado (entre las 11:00 y las 15:00 horas) la disminución de los valores de iluminancia es superior al 90%. Esta situación se presenta en aquellas situaciones donde debido a la posición del sol (altitud y azimut) incide sobre este punto radiación solar directa.

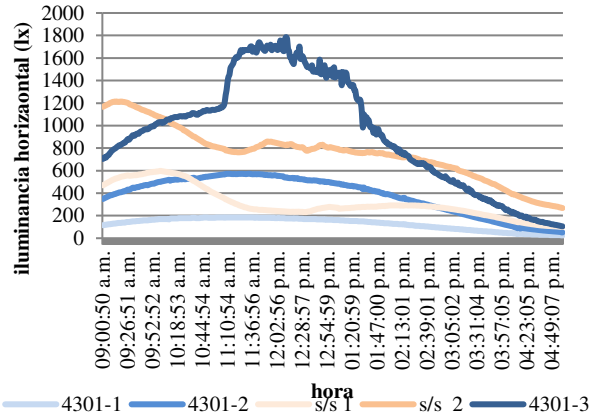


Figura 7 – Gráfica de curvas de iluminancia horizontal con sistema de sombreado –nodos 1, 2 y 3- y sin sistema de sombreado –nodos 1 y 2-.

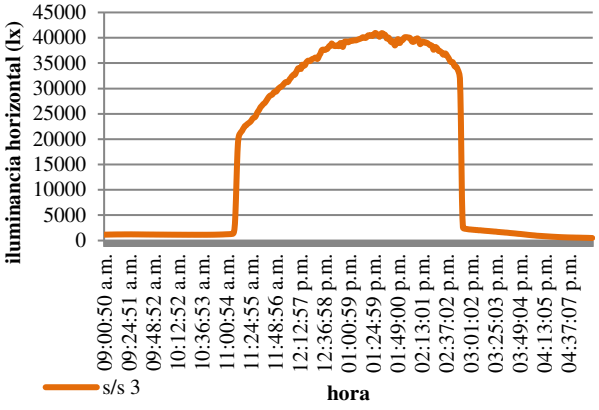


Figura 8 – Gráfica de curvas de iluminancia horizontal sin sistema de sombreado –nodo 3-.

Respecto a los niveles de Eh el valor mínimo indicado por IRAM AADL J20-06 (1996) para tareas de oficina en plano de trabajo es de 300lx. Observamos que en el punto 1 los valores de Eh, cuando se aplica el sistema de sombreado 4301, no alcanzan los 300 lx en ningún horario (Figura 7 y 8). Mientras que la misma ubicación sin sistema de sombreado alcanza valores de Eh superiores a los 300 lx un 29% del tiempo. En el punto 2 –intermedio- hay un diferencia del 26% de tiempo en que los valores de Eh superan los 300 lx entre la condición sin sombreado y la con sombreado 4301, alcanzando valores de 96% y 70% respectivamente. En relación al punto más próximo a la ventana (3) resulta pertinente emplear el criterio de rango de Eh entre 300 y 2000 lx, valores superiores indican un elevado riesgo de deslumbramiento (NABIL y MARDALJEVIC, 2005). De acuerdo a este criterio tanto el escenario con sistema de sombreado presentan un 85% del tiempo analizado valores de Eh en el rango propuesto, mientras que el escenario sin sistema de sombreado sólo presenta valores de Eh entre 300 y 2000 lx un 49% del tiempo.

4.6. Deslumbramiento

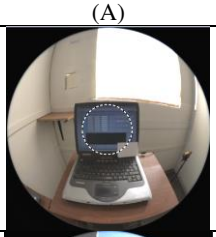
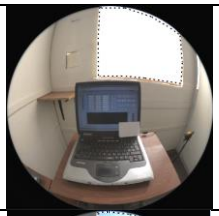
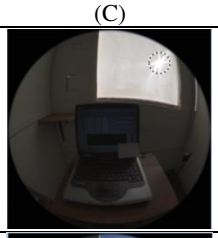
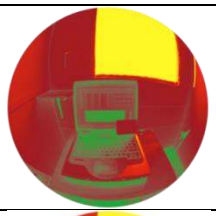
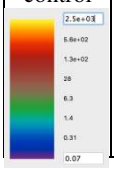
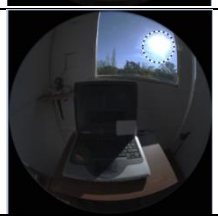
La Tabla 4 muestra el cálculo de las cuatro métricas de deslumbramiento más utilizadas por su mayor robustez. Las pruebas t-test para muestras relacionadas mostraron que hubieron diferencias significativas en el deslumbramiento calculado con y sin uso de control solar ($p>0.001$). A través de estas cuatro métricas se pudo observar que la reducción de deslumbramiento a partir del uso del textil estuvo en un orden de magnitud, observándose el mayor nivel de deslumbramiento entre las 10:00 y las 13:00 sin elemento de control solar. Sin embargo, aún con el uso del elemento de control solar se siguieron registrando valores elevados de deslumbramiento a las 11:00 según los modelo DGP , Ev y Lavg, y desde las 10 hasta las 12 según el modelo Lavg, además de observarse la presencia del disco solar (Tabla 5).

Tabla 4 - Valores calculados de las métricas de deslumbramiento DGP, Ev, Lavg y PGSV. Valores de corte de las metricas de deslumbramiento: Imperceptible-Notable: DGP 0.34, Ev 2484, Lavg 712, PGSV 0.95; Notable-Perturbador: DGP 0.38, Ev 3359, Lavg 909, PGSV 1.40; Perturbador-Intolerable: DGP 0.45, Ev 4384, Lavg 1267, PGSV 1.71.

	Tejido 4301				Sin Control			
	DGP	Ev	Lavg	PGSV	DGP	Ev	Lavg	PGSV
9:00	0.25	850	559.2	0.86	0.30	1500	1548.2	0.95
10:00	0.30	1489	844.1	0.94	0.58	18470	2297.9	1.49
11:00	0.38	2518	962.2	0.95	0.50	18320	2264.5	1.52
12:00	0.29	1448	782.2	0.94	0.45	15770	1971.17	1.49
13:00	0.27	1078	588.9	0.90	0.35	1900	1179.2	0.95
14:00	0.24	850	498.2	0.84	0.31	1300	875.6	0.90

En la Tabla 5 se puede observar comparativamente a través de imágenes HDR el comportamiento lumínico de la escena con y sin elemento de control solar registrado a las 10:00am. Tambien se puede observar la ubicación de la tarea (pantalla de visualización de datos) (A), la fuente de deslumbramiento global y puntual (B) y (C), como así también el mapeo de luminancias en falso color (D).

Tabla 5 - Imágenes HDR de la escena con y sin elemento de control. Hora de registro 10am.

	Ubicación de la tarea (A)	Ubicación de la fuente de deslumbramiento (B)	Fuente puntual de deslumbramiento (C)	Mapeo de luminancias en falso color (D)
4301				
Sin control 				

4.7. Parámetros de color.

4.7.1. Temperatura de color correlacionada (TCC).

En la Figura 9 se grafican las curvas de TCC detectadas en el espacio analizado (4301 y s/s) y la exterior (punto exterior próximo al recinto expuesto a la radiación global). Se observa que el escenario con sistema de sombreado presenta un comportamiento similar al exterior pero en un rango de valores de TCC inferiores (exterior: DS=203, máx= 5698 °K, mín=5124 °K; 4301: DS=211, máx= 4672 °K, mín=3949 °K). Respecto al escenario sin sistema de control solar detectamos una mayor variabilidad (DS: 1105) de la TCC a lo largo del día y una tendencia a valores de TCC más elevados (máx= 8699 °K, mín=4473 °K). A partir de estos datos se distingue con claridad que las cortina textil interior analizada en este estudio modifican la TCC de la luz hacia los colores más cálidos que la luz solar, mientras que el escenario que solo presenta vidrio (sin sistema de sombreado) tienden a valores de TCC más elevados, es decir, colores más fríos.

4.7.2. Índice de reproducción de color (IRC).

Respecto al IRC observamos (Tabla 6) que el escenario con sistema de sombreado (4301) presenta valores de IRC superiores, en todas la horas, respecto al escenario sin sistema de sombreado. Sin embargo, resulta adecuado destacar que en ambas situaciones los valore de IRC son elevados, indicando una buena capacidad de reproducción de color de la fuente, y las diferencias son inferiores al 4% en todas las horas analizadas.

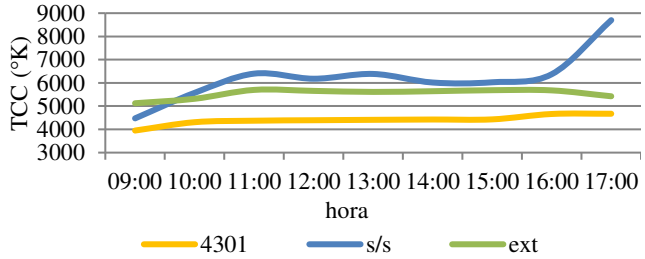


Figura 9 – Gráfica de línea de los valores de TCC para cada uno de los escenarios analizados.

Tabla 6 – IRC hora a hora del escenario con sistema de sombreado (4301) y del escenario sin sistema de sombreado.

hora	*IRC*	
	4301	*s/s*
9:00	98	97
10:00	97	94
11:00	97	93
12:00; 13:00	97	94
14:00	98	94
15:00; 16:00	98	93
17:00	98	94

4.7.3. Intensidad de la iluminación de acuerdo a la longitud de onda.

En la Figura 10 se muestran las curvas de intensidad de la iluminación de acuerdo a la longitud de onda para las 15:00, 16:00 y 17:00 horas para los escenarios: con sistema de sombreado (4301) y sin sistema de sombreado. Resulta destacable analizar cómo, en todos los horarios analizados, la intensidad de la radiación es más elevada en el rango de longitudes de onda que va desde los 380 nm hasta los 490 nm (violeta – azul -

cian) en el escenario sin sistema de sombreado, situación que se invierte en el escenario con sistema de sombreado, alcanzado valores más elevados en el rango de los 550nm hasta los 780nm (amarillo, naranja, rojo). Esto se encuentra directamente relacionado con los resultados de TCC.

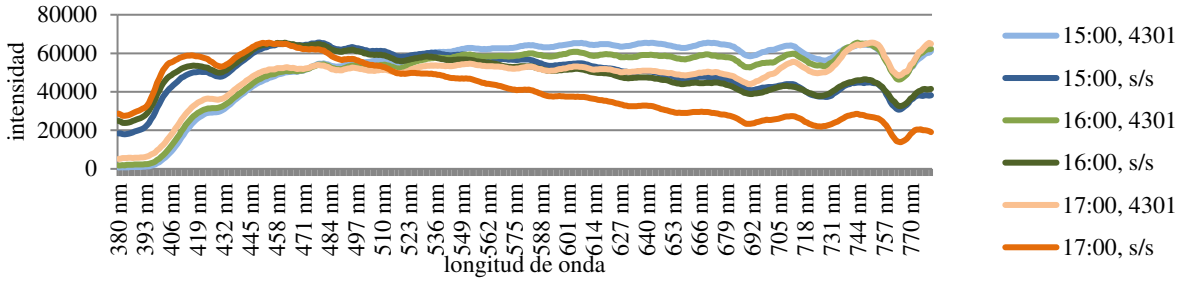


Figura 10 - Intensidad de la iluminación de acuerdo a la longitud de onda: 15:00 -16:00-17:00, escenario 4301 y sin sistema de sombreado (s/s).

5. DISCUSIÓN

Medición en espacio real. Avanzar sobre la caracterización del comportamiento lumínico en escala real de este tipo de sistemas de control solar es de fundamental importancia. Thanachareonkit y Scartezzini (2010) sostienen que existen grandes discrepancias entre ambas metodologías en la determinación del comportamiento de la iluminación. Bodart y Cauwerts (2017) determinan que los valores de luminancia en modelos a escala presenta una sobreestimación respecto a los desarrollados en espacio reales. Las diferencias (espacio real vs. modelo a escala) entre los valores medidos varían entre un 10 y un 50% para aquellas situaciones sin sistema de sombreado, entre un 45 y un 80% para aquellas con textiles blancos y entre 0 y 45% para textiles negros. Thanachareonkit et al. (2005) sostienen que las discrepancias entre las mediciones en espacios reales y modelos se deben principalmente a la maquetación de detalles, a la complejidad que implica seleccionar superficies con reflectancias y transmitancias (vidrios) adecuadas y a las características de los equipos de medición. Asimismo, afirman que la maquetación imprecisa puede generar divergencias de entre un 25-40%, sugiriendo que ingresa más luz de la que realmente ingresa.

Registro de las propiedades ópticas de los materiales que conforman los recintos. Efectuar estas mediciones es de fundamental importancia para poder posteriormente desarrollar estudios precisos del comportamiento de la luz natural en modelos virtuales (Radiance, DIVA, DAYSIM). Estos datos permiten caracterizar el comportamiento óptico de las superficies interiores que conforman el espacio. Generalmente para la caracterización de superficies interiores con acabados superficiales difusos podemos emplear el modelo "plastic" de Radiance que implica conocer la reflectancia difusa del material. Para cuantificar este dato con equipamiento de bajo costo se puede emplear la metodología propuesto por Fontoynont (1999) como se utiliza en este trabajo, sin embargo, existen otras metodologías de bajo costo que implican el uso de técnicas fotográficas u otro tipo de sensores (ALCHAPAR et al., 2018; VILLALBA et al., 2018). Si bien no existen grandes diferencias entre la caracterización de los metales y los plásticos en Radiance, en los metales los reflejos son modificados por el color del material, en los plásticos los reflejos son incoloros (WARD y SHAKESPEARE, 1998). Es por esta causa que en algunas situaciones resulta de utilidad determinar las coordenadas de color de los materiales del entorno como se propone en la metodología detallada en este trabajo.

Caracterización óptica de superficies transparentes y traslúcidas. -Caracterización óptica del vidrio. Debido a la complejidad y el equipamiento de alto costo que requiere la caracterización del comportamiento óptico de superficies transparentes tales como el vidrio, en la metodología desarrollada se propone el uso de un vidrio cuyas propiedades ya sean conocidas. Es por esta causa que se seleccionó un acristalamiento cuyas propiedades ópticas se encuentran disponibles en la International Glazing Data Base (IGDB). La IGDB es una colección de datos ópticos de los productos de acristalamiento. Esta base está conformada por vidrios monolíticos, plásticos, laminados, películas aplicadas sobre vidrio y vidrios recubiertos de una película delgada. El software Optics[1] genera como output el archivo *.rad que caracteriza el comportamiento de los materiales, que conforman la base de datos, para su empleo en Radiance. -*Caracterización óptica de la cortina roller interior.* Disponer de datos precisos respecto al comportamiento (reflectancia y transmitancia espectral) de los sistemas de sombreado analizados es de fundamental importancia. Por un lado, nos permite avanzar sobre la determinación de cuáles son los parámetros (color, FA, peso, etc.) que tienen mayor influencia sobre el comportamiento lumínico de las cortinas roller. Por otro lado, estos datos permiten caracterizar el comportamiento óptico de los textiles en entornos de simulación de iluminación natural dinámica y testear los modelos de caracterización óptica de textiles.

Monitoreo de las condiciones de cielo exterior. Disponer de datos de irradiancia global y difusa no sólo permite controlar las condiciones de cielo bajo las cuales se realizan los registros sino que permite

disponer posteriormente de datos para confeccionar bases climáticas locales. Estas bases climáticas (*.epw, *.wea, etc.) son fundamentales para la simulación dinámica de precisión en contextos de cielo claro (MARDALJEVIC, 2000; MONTEOLIVA et al., 2017).

Parámetros de color y visión al exterior. Actualmente, a los aspectos que involucra la usabilidad de la iluminación natural: confort visual y visibilidad (iluminancia, distribución y deslumbramiento), se suman los relacionados con la amabilidad visual. Estos son los parámetros vinculados con la apariencia, la visión al exterior, la privacidad y el color (RUCK et al., 2000; FONTOYNONT, 2002). La amabilidad visual abarca la respuesta humana a la iluminación natural que va más allá de la visibilidad e incorpora los aspectos psicológicos (RUCK et al., 2000). Las recomendaciones visuales basadas únicamente en parámetros de capacidad visual son generalmente limitadas (BOYCE et al., 2006). BOYCE et al. (2003) afirma que la luz en un espacio se puede considerar en tres dimensiones: la cantidad, el espectro y la distribución. Asimismo sostiene que la iluminación natural tiene un elevado índice de reproducción del color (IRC), por lo que no distorsiona la percepción del color de los objetos. Sin embargo, cuando esta se refleja a partir de una superficie interior o cuando es transmitida a través de un vidrio altamente saturado en su croma se distorsiona el espectro (BOYCE et al., 2003). Köster (2004) y Baker et al. (1993) coinciden en que, cuando la radiación solar atraviesa un aventamiento, esta se ve afectada en su composición espectral por la interferencia del sistema de control solar. Las fachadas vidriadas modifican la distribución espectral de la radiación solar incidente y, por lo tanto, nuestra percepción de los colores en el interior de un espacio. Estudios previos desarrollados por los autores (VILLALBA et al., 2016) demuestran que la implementación de dispositivos de control solar ejercen efectos sobre la TCC de la fuente de luz natural. De dicho estudio se destacan dos aspectos: los sistemas de control solar homogenizan las variaciones en la TCC a lo largo de la jornada para todas las orientaciones; las cortinas textiles interiores analizadas modifican la TCC de la luz hacia los colores más cálidos (6400 °K), mientras que los filtros de control solar tienden a valores de TCC más elevados (7600 °K), es decir, colores más fríos. De acuerdo a lo anteriormente expuesto la metodología propuesta en este trabajo incorpora la cuantificación de parámetros que definen el color de la luz natural que atraviesa el sistema de sombreado y la capacidad de la misma para reproducir el color de los objetos (temperatura de color correlacionada, intensidad de la iluminación de acuerdo a la longitud de onda; índice de reproducción de color).

Deslumbramiento. Respecto a la evaluación de deslumbramiento a partir de imágenes HDR, el criterio de selección de LDR para la creación de HDR fue más robusto que el que se utiliza en climas con niveles de irradiación global más bajos. El número de LDR encontrados en la literatura va de 3 LDR (KONSTANTZOS et al., 2015) a 8 LDR (INANICI, 2006). En este estudio se requirió más de 8 fotografías LDR para cumplir con el criterio de tener un 1% de píxeles blancos y negros en las fotos más oscuras y más claras. En este estudio se aproximó la tarea a la fuente (ventana) intencionalmente para poder tener un registro del disco solar, ya que la presencia del mismo es muy frecuente en espacios de trabajo con clima soleado. La metodología propuesta incorpora el análisis de escenas con presencia del disco solar, lo cual supone un avance en la evaluación de deslumbramiento respecto a otros estudios (KONSTANTZOS et al. 2015). Existen diversos estudios internacionales (KONSTANTZOS et al. 2015, DUBOIS 2011) que manifiestan la necesidad de investigar la presencia de la luz solar directa en el campo de visión (DUBOIS, 2011) como así también el impacto de grandes áreas de deslumbramiento (KONSTANTZOS et al. 2015) y superficies no uniformes. Además, en este estudio se reafirma la importancia de usar más de un modelo de deslumbramiento. Mientras el modelo DGP, Ev y Lavg coincidieron en que hubo deslumbramiento en un período de una hora (11:00), el modelo Lavg predijo deslumbramiento durante tres horas, desde las 10:00 hasta las 12:00 y el modelo Pgsv que hubo ausencia de deslumbramiento.

6. CONCLUSIÓN

En este trabajo se propone una metodología de caracterización del comportamiento lumínico de cortinas roller en escala real (1:1). Esta propuesta supone un avance en los siguientes aspectos: (1) precisa caracterización de las propiedades ópticas de todos los componentes involucrados (vidrio, textil, principales superficies interiores); (2) propuesta de estudio integral, que incorpora al análisis de deslumbramiento y distribución de la luz los parámetros de color (TCC, IRC, intensidad de acuerdo a la longitud de onda); (3) adecuación de la metodología al contexto de cielo claro. Específicamente el análisis de deslumbramiento con presencia de disco solar en la escena. Es de fundamental importancia destacar la necesidad de analizar, en futuros trabajos, el comportamiento lumínico de las cortinas roller en distintas orientaciones. Esto se justifica en la característica dinámica de la luz solar en climas soleados y en la fuerte dependencia angular de las propiedades ópticas de los tejidos. La orientación no sólo modifica la distribución de iluminancia y el índice de deslumbramiento sino que también modifica la temperatura de color de la luz en el interior del espacio. Además, es necesario complementar esta metodología de investigación con estudios psicofísicos que evalúen el confort y

comportamiento de las personas. Por último, resulta de interés destacar la necesidad de avanzar sobre la normalización regional e internacional de estas metodologías, que permita comparar la performance lumínica de estos y otros sistemas de sombreado a nivel global.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALCHAPAR, N.; VILLALBA, A.; CORREA, E.; PATTINI, A. Revisión de metodologías para la estimación de propiedades ópticas de materiales opacos y transparentes con instrumental de mediano y bajo costo. En: Acta de la XLI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 2018. INENCO, Salta.

ATHIENITIS, A.K.; TZEMPELIKOS, A. A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device. **Solar Energy**, v.72, n.4, p. 271-281. 2002.

BAKER, N., Fanchiotti, A., Steemers, K. **Daylighting in architecture. A European reference book**. UK: James & James. 1993.

BARDHAN, R.; DEBNATH, R. Towards daylight inclusive bye-law: Daylight as an energy saving route for affordable housing in India. **Energy for Sustainable Development**, v.34, p. 1-9. 2016.

BODART M.; CAUWERTS, C. Assessing daylight luminance values and daylight glare probability in scale models. **Building and Environment,** v.113, p.210-219. 2017.

BODART, M.; DE HERDE, A. Global energy savings in office buildings by use of daylighting. **Energy and Buildings**, v.34, n.5, p. 421-429. 2002.

BODART, M.; DE PEÑARANDA, R.; DENEYER, A.; FLAMANT, G. Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. **Building and Environment**, v.43, n.12, p. 2046-2058. 2008.

BOYCE, P.R.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. The benefits of daylight through windows. New York, Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, New York. 2003.

BOYCE, P.R.; VEITCH, J.A.; NEWSHAM, G.R.; JONES, C.C.; HEERWAGEN, J.; MYER, M.; HUNTER, C.M. Lighting quality and office work: two field simulation experiments. **Lighting Research & Technology**, v.38, n.3, p.191–223. 2006.

DUBOIS, M.C.; BLOMSTERBERG, A., FLODBERG, K. Towards zero energy office buildings in Northern Europe: Preliminary results of daylighting simulations. En: SB11 Helsinki World Sustainable Building Conference. Helsinki, Finland, p.18-21.

FONTOYNONT, M. **Daylight performance of buildings**. James and James, London. 1999.

INANICI, M. Dynamic Daylighting Simulations from Static High Dynamic Range Imagery using Extrapolation and Daylight Coefficient Methodologies. En: Proceeding of the IBPSA 2013 Conference. Chambery, France. 2013.

INANICI, M. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system**. Lighting Research & Technology**, v.38, n.2, p.123-134. 2006.

International Energy Agency (IEA). Technology Roadmap Energy Efficient Building Envelopes. Paris, France. 2013.

IWATA, T.; TOKURA, M. 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. 1998.

JONSSON, J.C.; LEE, E.S.; RUBIN, M. Light scattering properties of woven shade-screen material used for daylighting and solar heat-gain control. En: Optical Engineering + ApplicationsS, 2008, San Diego, California, United States. Proceedings… San Diego: SPIE Optics + Photonics, 7065: 70650R-70650R-11. 2008.

KARAGIANNI, L., TURRIN, M.; KNAACK, U.; HORDIJK, T. Additive Manufacturing for daylight_Towards a customized shading device. Proceedings: SimAUD 2016. London, UK.

KIM, JT.; KIM, G. Advanced external shading device to maximize visual and view performance. **Indoor Built Environment**, v.19, n.1, p.65–72. 2010.

KONSTANTZOS, I.; TZEMPELIKOS, A.; CHAN, Y.C. Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. **Building and Environment**, v.87, p.244-254. 2015.

KONSTANTZOS, I.; TZEMPELIKOS, A.; CHAN, YC. Experimental and simulation analysis of daylight glare probability in offices with dynamic window shades. Building and Environment, v.87, p.244-254. 2015.

KÖSTER, H. **Dynamic Daylighting Architecture**: Basics, Systems, Projects. Basel: Birkhäuser. 2004.

LI, DHW. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. **Applied Energy**, v.87, n.7, p. 2109-2118. 2010.

MARDALJEVIC, J. Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients. Tesis Doctoral, Montfort University, 2000.

MONTEOLIVA, J.M.; VILLALBA, A.; PATTINI A.E. 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**, v.49, n.4, p.508–520. 2017.

MONTEOLIVA, JM.; PATTINI, A. ILUMINANCIA/IRRADIANCIA EN LA ESTACIÓN DE MEDICIÓN IDMP-CCT CONICET MENDOZA. En: 5° Congreso Internacional Solar Cities "Energia en las ciudades: innovacion frente al cambio climatico" Centro Metropolitano de Diseño Buenos Aires, Argentina 17 y 18 de noviembre. 2014.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. **Lighting Res Tech**., v.37, n.1, p.41–59. 2005.

Norma **IRAM AADL J 20-06.** Niveles mínimos de servicio de iluminancia. Argentina. 1996.

RODRÍGUEZ, R.G. Análisis de estresores visuales y cognitivos en trabajo de oficina con PVD. El caso de las TIC´s. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. San Miguel de Tucumán. 2012.

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. 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. 2000.

THANACHAREONKIT, A.; SCARTEZZINI, J.L. Modelling Complex Fenestration Systems using physical and virtual models. **Solar Energy**, v.84, n.4, p.563-586. 2010.

THANACHAREONKIT, A.; SCARTEZZINI, J.-L.; ANDERSEN, M. Comparing daylighting performance assessment of buildings in scale models and test modules. **Solar Energy**, v.79, n.2, p.168-182. 2005.

TREGENZA, P.R.; PEREZ, R.; MICHALSKY, J.; SEALS, R.; MOLINEAUX, B.; INEICHEN, P. Guide to recommended practice of daylight measurement. CIE 108-1994. ISBN 978 3 900734 50 3. 1994.

TZEMPELIKOS, A.; CHAN, YC. Estimating detailed optical properties of window shades from basic available data and modeling implications on daylighting and visual comfort. **Energy and Buildings**, v.126, p.396-407. 2016.

VAN DEN WYMELENBERG, K.; INANICI, M. 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. 2014.

VILLALBA, A.; ALCHAPAR, N.; CORREA, E.; PATTINI, A.; SANTONI, L. Métodos de evaluación opto-térmica de materiales y componentes de la envolvente edilicia. Situación en argentina. Revista Hábitat Sustentable, v.9, n.2, p.64-79.

VILLALBA, A.; MONTEOLIVA, J.M.; PATTINI, A. Amabilidad visual: sistemas de sombreado. **ARQUITETURAREVISTA**, v.12, n.1, p.71-86. 2016.

VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CÓRICA, L. Diagnóstico morfológico descriptivo de las envolventes según su interacción con el clima luminoso. **Ambiente Construido**, v.12, n.4, p. 159-175. 2012.

WARD, G.; SHAKESPEARE, R.. **Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization**. Morgan Kaufmann, San Francisco. 1998.

WIENOLD, J. Daylight glare in offices. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag. 2010.

WIENOLD, J.; CHRISTOFFERSEN, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. **Energy and Buildings**, v.38, n.7, p.743-757. 2006.

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.

YUN, G., YOON, K.C., KIM, K.S. The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings. **Energy and Buildings**, v.84, p.70-85. 2014.

AGRADECIMIENTOS: 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.