

CHAPAS METÁLICAS PERFORADAS EN FACHADAS VIDRIADAS. CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS E ILUMINACION NATURAL.

A. Pattini¹, A. Villalba^{1,2}, L. Córlica¹, R. Rodríguez^{1,2}, L. Ferrón¹

¹Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Centro Científico y Tecnológico – CCT CONICET MENDOZA - C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244310 – Fax 0261-4287370 e-mail: apattini@mendoza-conicet.gov.ar

² Doctorado MAVILE, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Universidad Nacional de Tucumán.

Recibido: 4-08-11; Aceptado:4-09-11.

RESUMEN.- Las envolventes de edificios que proponen sobre sus fachadas vidriadas láminas metálicas perforadas con patrones de diseño, generan en los espacios interiores condiciones lumínicas particulares. Por un lado su impronta es el dinamismo de luces y sombras que generan un interés visual, pero si estos espacios son de uso visual exigido como aulas y oficinas, constituyen fuentes de deslumbramiento y de discomfort visual. Este artículo analiza un ejemplo con nuevos métodos como el mapeo de Luminancias (HDR-EVALGLARE) y distribución de transmitancia bidireccional (BTDF). Los resultados arrojaron para invierno (11.48 sr^{-1}) y media estación (5.52 sr^{-1}) valores bajos de transmitancia y elevadas diferencias de luminancias, (máx. 3200 cd/m^2 y min. 1 cd/m^2). Los cálculos de predicción de deslumbramiento resultaron por encima de lo aceptable (19,4) convirtiendo a este ejemplo en una fuente de luz no apropiada para iluminación natural de espacios de uso visual exigido.

Palabras claves: control solar, iluminación, transmitancia bidireccional.

PERFORATED METAL SCREENS IN GLAZED FACADE. OPTICAL CHARACTERISTICS AND DAYLIGHTING

ABSTRACT.- Building envelope that propose on their glass facades screen panel design patterns generated particular luminous conditions indoors. On one hand they generate dynamic of light and shadow that create visual interest, but if these spaces are required for visual task, as classrooms and offices, they are source of visual discomfort and glare. This article analyses screen panel design with new methods such as luminance distribution map (HDR-EVALGLARE) and bidirectional transmittance distribution function (BTDF). Results showed for winter (11.48 sr^{-1}) and midseason (5.52 sr^{-1}) low values of transmittance and high luminance differences (max. 3200 cd/m^2 min. 1 cd/m^2). The glare prediction calculations were above the acceptable (19.4) turning this example in an inappropriate light source for natural lighting of spaces required for visual task.

Key words: perforated metal, daylighting, bidirectional transmittance

1. INTRODUCCIÓN

La envolvente de un edificio separa el interior del exterior y además actúa como interfaz entre el edificio y el medio urbano. Sus funciones más importantes son proteger de los agentes climáticos (frío, calor, lluvia y viento) definir el volumen y crear un ambiente acogedor. Como parte de esta envolvente, la fachada es tanto la cara pública de un edificio como un elemento del medio urbano. El modernismo exhortó a que la apariencia externa de un edificio reflejase también la función del edificio. Esto, junto con la creciente autonomía de fachadas y estructuras de soporte (muro cortina) y las crecientes demandas de flexibilidad, condujo a una mayor atención a las superficies exteriores. El color y la textura de los materiales escogidos desempeñan un papel crucial en la apariencia visual del edificio.

Las ciudades como Mendoza, de traza urbana en damero, presentan fachadas vidriadas que se encuentran en distintas orientaciones, que podrían llegar a tener un tratamiento formal en respuesta a la luz solar incidiendo sobre ellas, sin embargo ha primado la solución en función de dos variables: 1- bloqueo la luz natural por potencial riesgo de deslumbramiento por las fachadas ampliamente vidriadas, es decir espacios interiores con ventanas hacia el exterior que son obstruidas por elementos de control solar y 2- ubicación y diseño de los elementos de control con criterio meramente morfológico simbólico o estético (Villalba, 2010).

En las envolventes de edificios compuestas por varias capas, una superficie externa metálica, en forma de lámina o malla perforada, cumple una función no sólo decorativa. Colocada delante de paredes con grandes superficies acristaladas,

puede desempeñar una función de parasol o elemento de control solar y visual.

La tecnología y la disponibilidad de materiales y técnicas constructivas de envolventes sobre aventanamientos complejos o muros cortina, avanza con rapidez y continuamente se abren nuevas posibilidades.

Las expectativas de imagen visual de envolventes están siendo desafiadas. Un espíritu de experimentación del diseño subyace en esta tendencia.

El metal laminado está desempeñando un papel importante. (figuras 1, 2, 3, 4 y 5).

Los edificios donde mayor aplicación de estas envolventes se ha realizado son edificios no residenciales.

Entre los efectos que anuncian los fabricantes de las láminas perforadas sobre vidrios, es su impacto sobre la iluminación natural, con la promoción del filtrado de la luz solar a modo de proveer de confort visual, particularmente de evitar el deslumbramiento por la incidencia de la luz solar directa.

Si los espacios interiores inmediatos a las fachadas son de uso visual intensivo (aulas, oficinas, bibliotecas, salas de exposición, escaleras) debería considerarse el impacto las propiedades ópticas de las envolventes, ya que estas inciden, en forma directa sobre puestos de trabajo de uso diurno.



Fig. 1. Museo de la Memoria y los derechos humanos, Santiago, Chile.



Fig. 2. Izq. Edificio Nestlé, Chile, Cent. Edificio Casino y Hotel de Talca, Chile

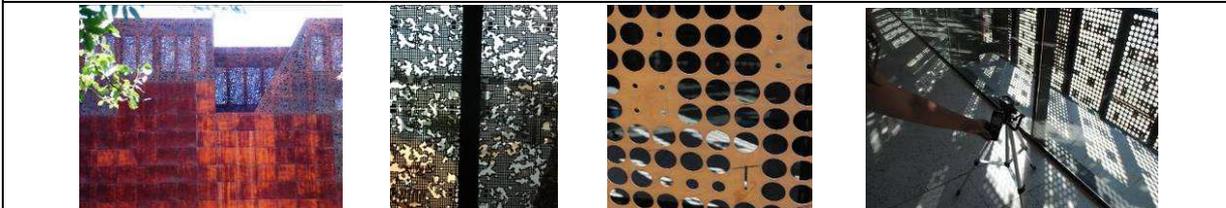


Fig. 3. Dos de la izq. Edificio Caixa Forum, Madrid. Dos derechas edificio Gabriela Mistral, Santiago, Chile.



Fig. 4. Izq. Edificio Suite Avenue, Barcelona. Cent. Residencia André Gouveia, Francia, Izq. Edificio G. Mistral, Chile.

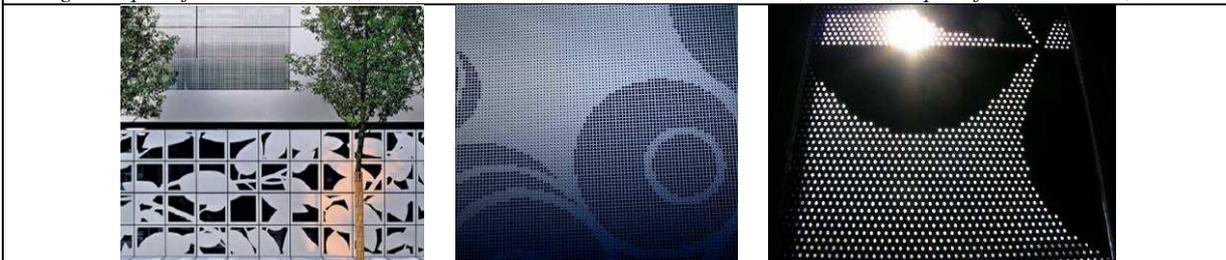


Fig. 5. Distintos patrones de diseño posibles en chapa perforada, combinaciones de perforaciones y llenos.

La distribución de luz del día dentro de edificios debe ser mejorada, sobre todo en espacios profundos iluminados lateralmente, para reducir el consumo de energía de edificio y mejorar el confort visual. Los sistemas de fachadas integrales, que incluyen la luz natural que filtra, refleja y/o redirigen dispositivos de sombra, persianas y nuevos tipos de vidrios pueden jugar un papel significativo en este campo. (Köster, H. 2004).

Actualmente se han desarrollado nuevos componentes de fachada que intentan suministrar mejor iluminación, proporcionando protección solar y control de deslumbramiento. Debido a esto, en los últimos años, serios esfuerzos se realizan a fin de obtener la fotométrica de estos complejos sistemas de aventanamientos (Andersen et al., 2003; Andersen, 2004). Sin embargo el empleo de estos datos fotométricos en apoyo de decisiones de diseño, todavía no se implementa. Los motivos son obvios: los conjuntos de datos obtenidos son de alta complejidad y no se relacionan directamente con la iluminación de espacio interior, sino que suelen responder a flujos luminosos. Este artículo presenta distintos acercamientos de precisión al impacto de la radiación visible de la que dispondrán los ocupantes para sus tareas visuales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

A fin de analizar el impacto de un sistema de aventanamiento complejo que incluye una envolvente exterior de chapa perforada, se seleccionó a modo estudio el caso de un patrón de diseño del tipo utilizado actualmente en acero corten, que presenta áreas con perforaciones pequeñas y próximas junto a zonas opacas, generando un motivo icónico que puede ser repetido por modulación. (fig. 6).

Se realizó una muestra del patrón mencionado de 0.30 m de lado y se aplicó sobre un vidrio claro de 4mm de espesor sobre una de las fachadas del laboratorio de ensayos lumínicos (LAHV-INCHUSA, CCT CONICET Mendoza). (Pattini, A. y col., 2001).

En laboratorio se realizaron mediciones de iluminancia horizontal (lux), mediante registros sobre una grilla de puntos equidistantes con sensor fotométrico con filtro $V(\lambda)$ de λ y corrección de coseno marca LMT (Illuminance Meter POCKET-LUX 2A). Asimismo se realizaron mapeos de distribución de luminancias (cd/m^2) como fuente de luz incidente, con y sin el sistema de control solar sobre vidrio.

Por otro lado, y con el fin de conocer el efecto sobre las personas al observar la fachada desde el interior (fuente luminosa dentro del campo visual) se calculó el índice de probabilidad de deslumbramiento (EVALGLARE-RADIANCE).

Si bien el tipo de chapa perforada no produce el fenómeno de la retro-reflección óptica que se da en sistemas como los vidrios prismáticos o el panel con cortes láser y las venecianas, se completo el análisis óptico con el cálculo de la función de distribución de la transmitancia bidireccional en forma de modelado virtual mediante el uso de software de trazado de rayos TracePro¹. Este tipo de análisis es necesario para crear el archivo de BSDF como dato de entrada en modelos de precisión como el WINDOW 6 para

el cálculo de las transmitancia de dependencia angular en el solar y visible, las reflectancia solares y visibles, la absorbancia solar, y el coeficiente de ganancia solar (entre otros índices) del sistema de aventanamientos complejos.

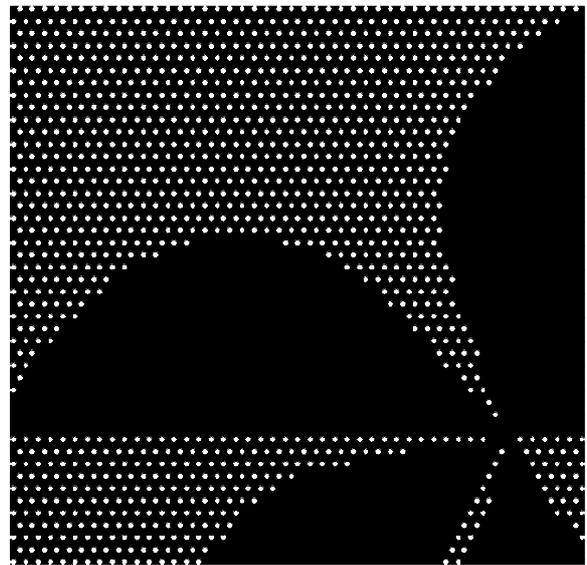


Fig. 6. Patrón de diseño

3. RESULTADOS

3.1. Mediciones de iluminancia.

Las mediciones de iluminancia se realizaron en el laboratorio de ensayos lumínicos (Pattini, A. y Col., 2001) para lo cual se aplicó un protocolo de mediciones que consistió en el registro de datos de iluminancia horizontal sobre 10 puntos equidistantes perpendiculares al eje de la fuente de luz natural, a una altura del piso correspondiente al un plano de trabajo de oficina o aula (0.8m). Se giró el laboratorio para orientar la fachada que contiene la abertura al Este (Laboratorio de base giratoria) y registrar el impacto de la luz solar directa máxima incidiendo sobre la fuente de luz natural con un ángulo de altitud solar de aproximadamente 32°.

El protocolo de mediciones se repitió para la abertura con vidrio solo y con el sistema de patrón instalado. Estos valores permiten detectar los niveles de lux que arroja el elemento de fachada sobre el espacio interior y el tipo de luz que emite (figura 7).

Las curvas de medición demuestran que los puntos que se encuentran cercanos a la abertura y bajo la incidencia de iluminación solar directa, filtran alrededor del 84% del total de luz que ingresa sin vidrio (figura 8). La figura de la izquierda muestra el comportamiento de la curva, con rangos que van de 60.000 lux de luz directa a 100 lux, situación que se observa en la figura derecha a partir del decaimiento brusco que se produce en la escala de niveles lumínicos medidos.

Es necesario tener en cuenta que este porcentaje sólo representa el mejor valor de permeabilidad del sistema, ya que en la estación de invierno el ángulo de incidencia de los rayos va a experimentar el mayor grado de penetración sobre las perforaciones de la superficie.

1. TracePro®, v. 7.0, Lambda Research Corporation



Fig. 7. Imágenes exterior (Izq.) e interior del laboratorio, mediciones y HDR con y sin chapa perforada.

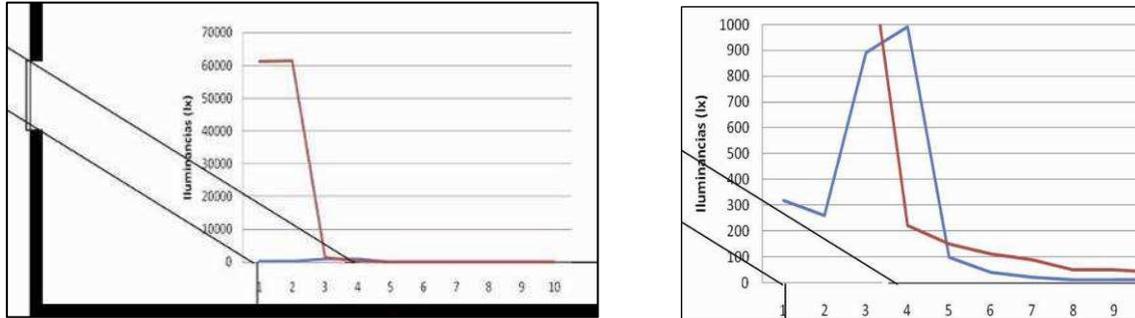


Fig. 8.: Curva de iluminancias comparativas con (azul) y sin presencia de patrón de chapa perforada (rojo).

Por lo tanto, en esta instancia ya se detecta que la presencia de esta envolvente sobre las fachadas soleadas, va a ejercer una reducción muy significativa de la disponibilidad global de luz natural a lo largo del año en el interior de los espacios. Esto sumado a que el diseño irregular de llenos y vacíos generaría potenciales fuentes de deslumbramiento en el campo visual.

3.2. Mapeos de luminancia:

Para el estudio de distribución luminancias de la escena luminosa representada por el patrón de diseño de chapa perforada bajo análisis y su comparativo de vidrio solo, se realizaron mapeos de luminancia a partir de la obtención de imágenes de alto rango dinámico (HDR) las cuales se procesaron con el software HDRGEN de Radiance. (Pattini, A. y col., 2010).

La figura 9 muestra resultados para una escena sin presencia del sistema, es decir la ventana sin elemento de control solar y la figura 10 corresponde a la misma escena con el sistema de control solar de la envolvente.

3.2.1. Escenario I: ventana sin control solar

Se tomó una secuencia de imágenes según la técnica anteriormente mencionada y se procesó con la herramienta HDRGEN de Radiance. Se generó un mapeo de luminancia de alto rango dinámico en falso color. Como resultado se observan en la figura 11, grandes contrastes de luminancia, con un mínimo inferior a 1 cd/m² y un máximo en cercanías del disco solar (circunsolar) de unas 25000 cd/m².

En la siguiente imagen se muestran los resultados en falso color siendo el amarillo el valor más alto de luminancia.

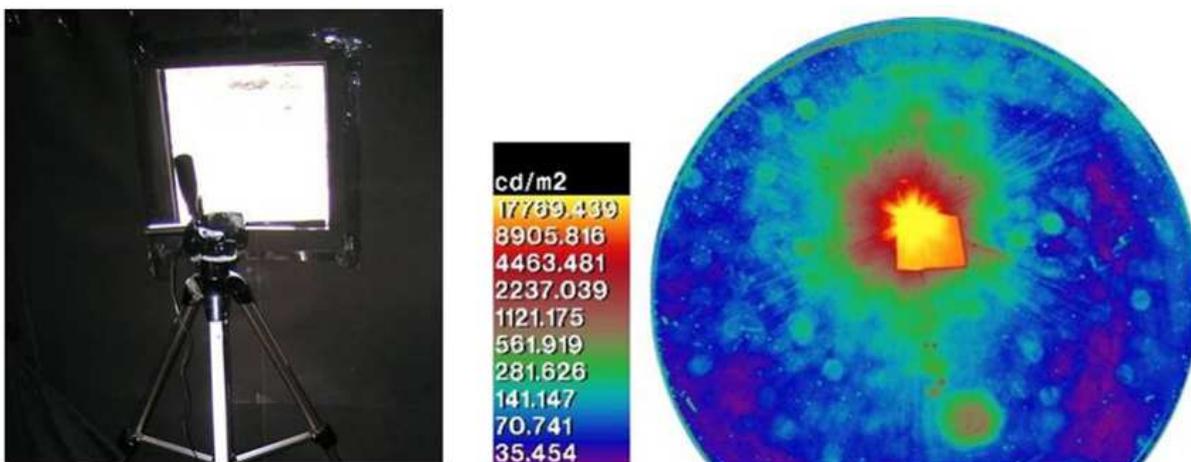


Fig. 9: Abertura sin control solar: Fotografía de la escena (der.) y Mapeo de luminancias (Izq.)

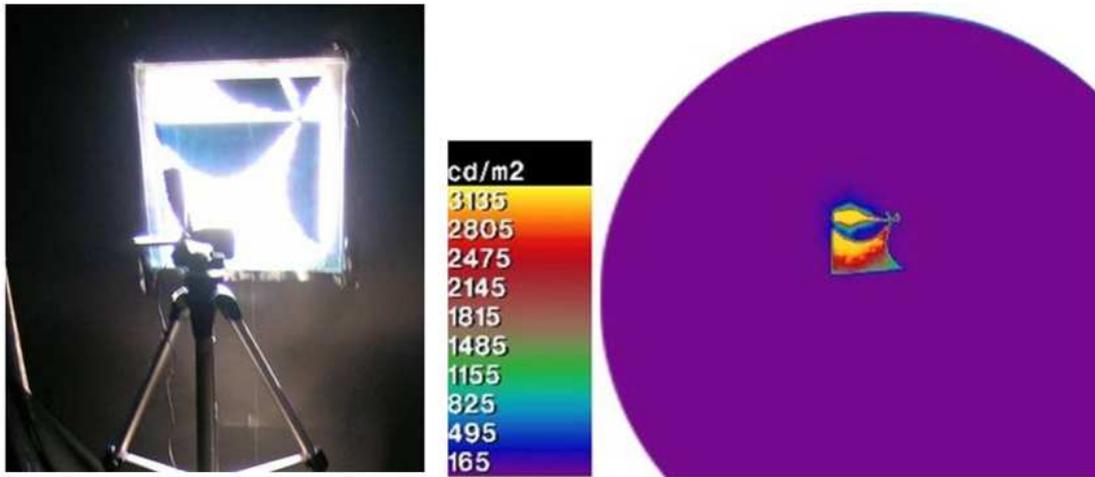


Fig. 10: Disposición de muestra de control solar y mapeo de luminancias con escala cd/m^2 .

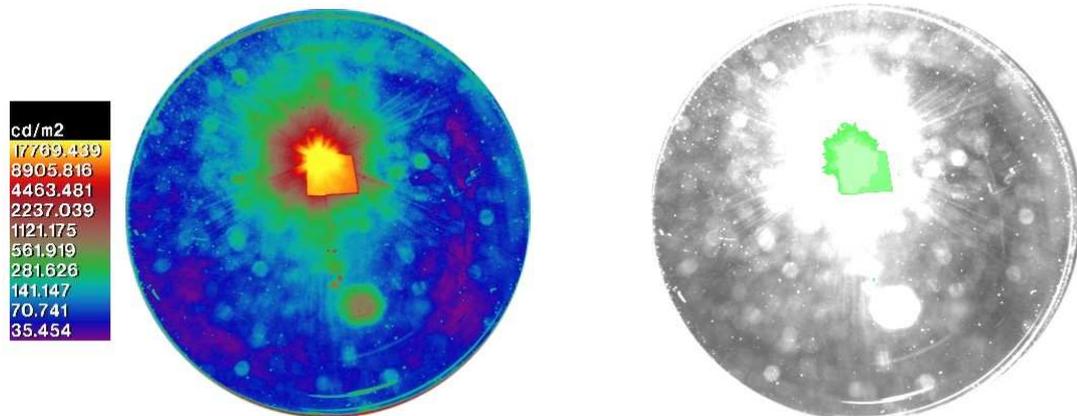


Fig. 11. Mapeo de luminancias e imagen en falso color indicando fuente de deslumbramiento calculado.

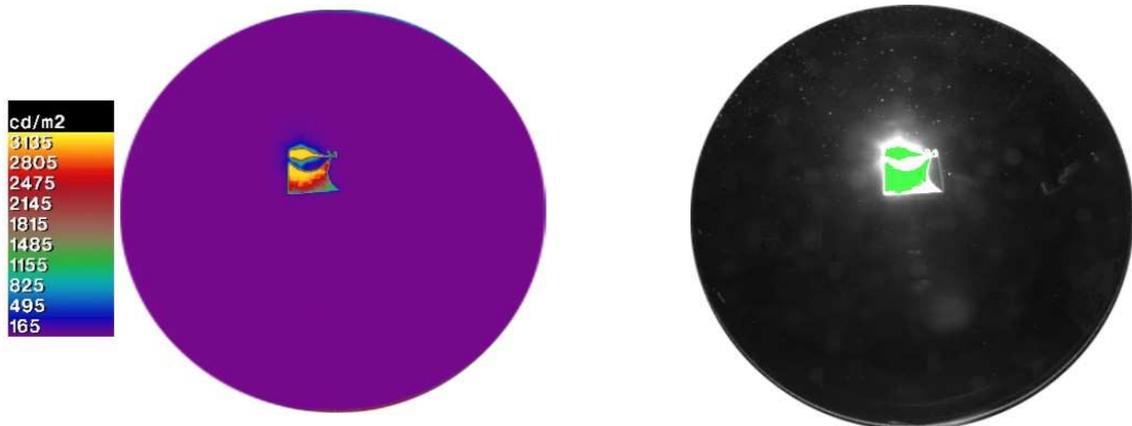


Fig. 12. HDR. Fuente de deslumbramiento (verde) con elemento de control solar

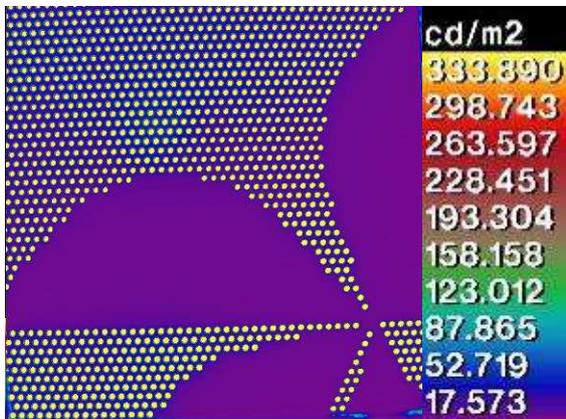
Una vez obtenida la relación de luminancias producida por la ventana y para predecir la respuesta de los ocupantes al deslumbramiento dentro del espacio y en la dirección del campo visual, se procesó la imagen de amplio rango dinámico con el conjunto de modelos EVALGLARE de Radiance. La luminancia tomada como referencia se basa en las recomendaciones y normas en un valor de 2000 cd/m^2 como máxima luminancia deseable en el campo visual. Los resultados de los cálculos de índices de deslumbramiento de la escena indican que el Índice de deslumbramiento por

iluminación natural medido en las imágenes de HDR supera los 25 puntos que ubica a la escena por encima del límite del confort visual (Bellia, 2007). Los datos obtenidos en los modelos de predicción se muestran gráficamente, donde se destaca en color verde el área de la escena que causaría deslumbramiento a los ocupantes del espacio interior, en el caso de la ventana sin control solar toda la superficie de la abertura.

3.2.2. Escenario II: Con elemento de control solar

Se repite el procedimiento para obtener el mapeo de luminancias de esta escena, luego de la instalación de la muestra confeccionada a escala 1:1. Se observan niveles de luminancia menores en términos absolutos y también en términos relativos en relación entre la luminancia de la fuente y su entorno inmediato. Como resultado global se tiene una escena más “oscura”. El valor máximo de luminancia es de alrededor de 3200 cd/m² y la luminancia menor inferior a 1 cd/m². Los resultados de la simulación en EVALGLARE para este escenario si bien dan valores sensiblemente inferiores para el índice de deslumbramiento que para la ventana sin protección (19,4) este valor no alcanza el confort visual, encontrándose por encima del límite de lo aceptable.

La imagen a la derecha de la figura 12, muestra el área que puede considerarse deslumbrante para el escenario II, indicada por el simulador en color verde.



3.3. Flujo luminoso

Se completaron los estudios con la determinación del flujo luminoso en términos energéticos de la placa, y de esta manera se puede definir la eficiencia del sistema como fuente lumínica. En la figura se muestran los resultados del mapeo realizado a partir de la toma de fotografías de alto rango dinámico, mediante imágenes en colores falsos, para las condiciones de luz difusa en verano y de luz global en invierno. (fig. 13).

Los valores obtenidos determinaron un flujo luminoso de 35 LUMENES para un módulo de 0.30 X 0.30 m, que es el equivalente en flujo lumínico a la luz que sería capaz de entregar una lámpara incandescente de 7W.

En términos de cantidad de luz aportada, y en función de las dimensiones del espacio, este flujo no resulta suficiente para alcanzar los valores mínimos recomendados por norma para la realización de tareas de lecto-escritura.

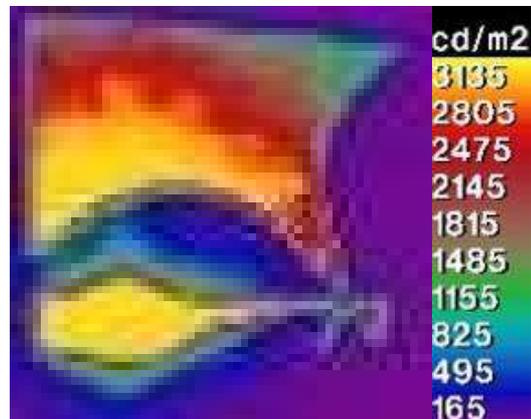


Fig. 13. Procesamiento para la obtención del flujo luminoso de fuente de luz.

4. TRANSMITANCIA BIDIRECCIONAL

Las medidas exactas y objetivas de las propiedades fotométricas de nuevos tipos de vidrios y sistemas de control solar avanzados, se pueden caracterizar con una función de distribución de transmitancia bidireccional (BTDF, cd m⁻² lx⁻¹), esta propiedad óptica tiene que ser conocida para controlar el funcionamiento de la luz natural de edificios.

Para análisis del tipo energético y de confort visual, la función de distribución bidireccional de la Transmitancia (Reflectancia) es la metodología adecuada de análisis de los elementos de control solar asociados a las ventanas. (Andersen, M., 2003).

La función de Distribución Bidireccional de Transmisión (o Reflexión) de la luz, abreviada BT (R) DF por sus siglas en inglés (Bidirectional Transmission or Reflection Distribution Functions) ha sido definida por la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) como el cociente de la luminancia del medio por la iluminancia del medio.

Esto es por lo tanto dependiente del ángulo de la incidencia de la fuente de luz como del flujo de salida y expresa la distribución de flujo de luz de salida para una dirección incidente dada. Representada por la siguiente ecuación (1), y las cantidades asociadas fotométricas y geométricas (se ilustran en la figura 14).

$$BTDF(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2) [sr^{-1}] = \frac{L_2}{E_1} = \frac{\Phi_2}{\Omega_2 A \cos \theta_2} \cdot \frac{A}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{2norm} [\%]}{\Delta \theta_2 \cdot \Delta \phi_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \theta_2} \quad (1)$$

Donde:

- L₂ (θ₁, φ₁, θ₂, φ₂) la luminancia de elemento de flujo transmitido (cd m⁻²);
- E₁(θ₁) la iluminancia del material del aventanamiento, debido al flujo de luz incidente (lx);
- Ω₂ [sr]: ángulo sólido donde incide el flujo;
- Φ₁: flujo emitido; Φ₂: flujo incidente;
- Φ_{2norm}[%]: flujo incidente normalizado saliendo de la muestra y alcanzando la zona discretización superficie de colección;

- (θ₁, φ₁) son las coordenadas polares del flujo de luz incidente (°);
- (θ₂, φ₂) son las coordenadas polares del flujo de luz transmitido (°);
- (Δθ₂*Δφ₂): resolución de la zona de incidencia(r);
- A: área iluminada de la muestra (m²);
- L₁(θ₁, φ₁) la luminancia de elemento de flujo de luz incidente (cd m⁻²);
- dω₁ el ángulo sólido subtendido por flujo de luz incidente (sr) (Anderson M., 2003).

La medición experimental de esta propiedad óptica (reflección/transmisión bidireccional) puede realizarse con fotogoniómetro bidireccional (Andersen, 2004). El principio de medición consiste en un sensor fotométrico móvil de medición de iluminancias en diferentes direcciones (θ_2, φ_2), que conduce a las luminancias transmitidas asociadas L_2 ($\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2$). Este tipo de equipamiento, es complejo. Estos análisis también pueden llevarse a cabo mediante modelos de trazados de rayos con gran precisión (Anderson M., 2003).

4.1. Cálculo de BTDF con trazado de rayos TracePro®

Los elementos geométricos para el cálculo realizado fueron:

- a) El sistema de control analizar (el patrón de diseño de chapa perforada). (Figura 6).
- b) Dos semiesferas, una semiesfera corresponde al conjunto de superficies y distribución de fuentes de incidencia. La otra corresponde a la distribución de las superficies de detección. Cada de las semiesferas posee una distribución de 145 ángulos que están determinados por los ángulos de altitud y azimut. Correspondientes a la W6 standards Basis (WINDOWS 6). (Figura 15).

c) Una superficie de bloqueo (cuya absorbancia es 1 y reflectancia 0) dispuesta entre los dos casquetes esféricos en cuyo centro se dispone la chapa perforada.

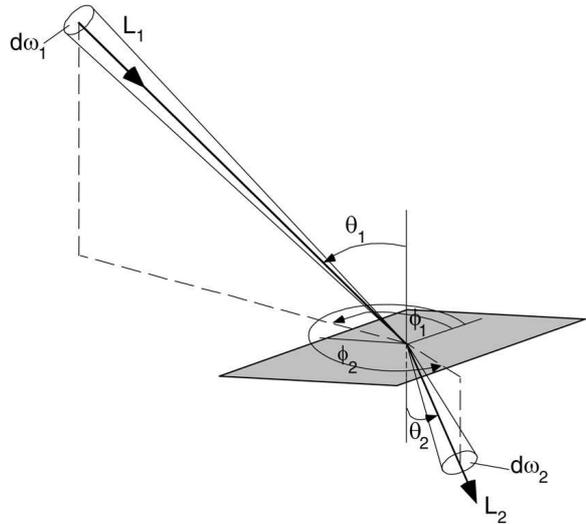


Fig. 14: geometría BSDF

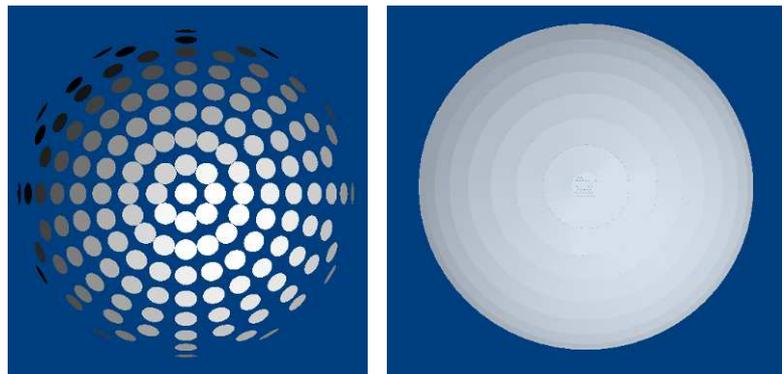
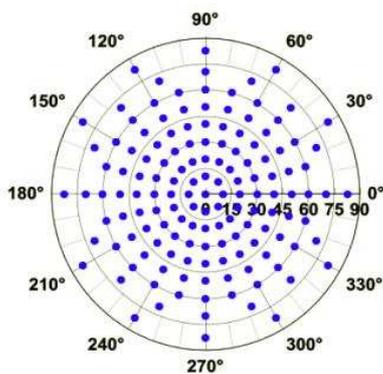


Fig. 15: matriz de ángulos de Klems. Fig. 16. Ubicación de las semiesferas y selección de las sup. de emisión (recorrido solar estacional inv-media estación).

Estos archivos generados en Rhinoceros se exportaron con extensión .ACIS, para importar el conjunto de datos en el modelo de trazado de rayos TracePro®.

En este modelo se le asignaron las propiedades a las superficies de fuentes de incidencia (tipo de emisión: flujo; unidades: fotométricas; distribución angular: normal a la superficie; total de rayos: 400000).

Para este cálculo que se focaliza en el rango visible del espectro, se tomó acorde a la norma ISO 9050 Wavelength Set, los valores y su distribución en un rango desde 0.380 micrones hasta 0.75 micrones. (Sensibilidad espectral del ojo humano). Al sistema de control solar a evaluar, se le asignaron las propiedades ópticas superficiales.

En este caso particular a la semiesfera correspondiente a las superficies de incidencia se la giró 90° para obtener la distribución correspondiente a la trayectoria solar para invierno y media estación en relación a un sistema de aventanamiento con control solar vertical en fachada norte. (figura 16). Una vez ingresado el archivo y asignadas las propiedades del sistema, se ejecutó el modelo de trazado de

rayos obteniéndose los graficados en las figuras 17 y 18. Solamente se exponen las imágenes correspondientes a la mañana y medio día dado que las correspondientes a la tarde se repiten de modo simétrico a las de la mañana respecto al medio día.

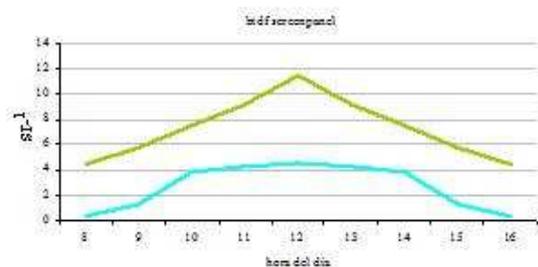


Fig. 17. Distribución diurna de la transmitancia bidireccional del patrón de diseño de chapa perforada.

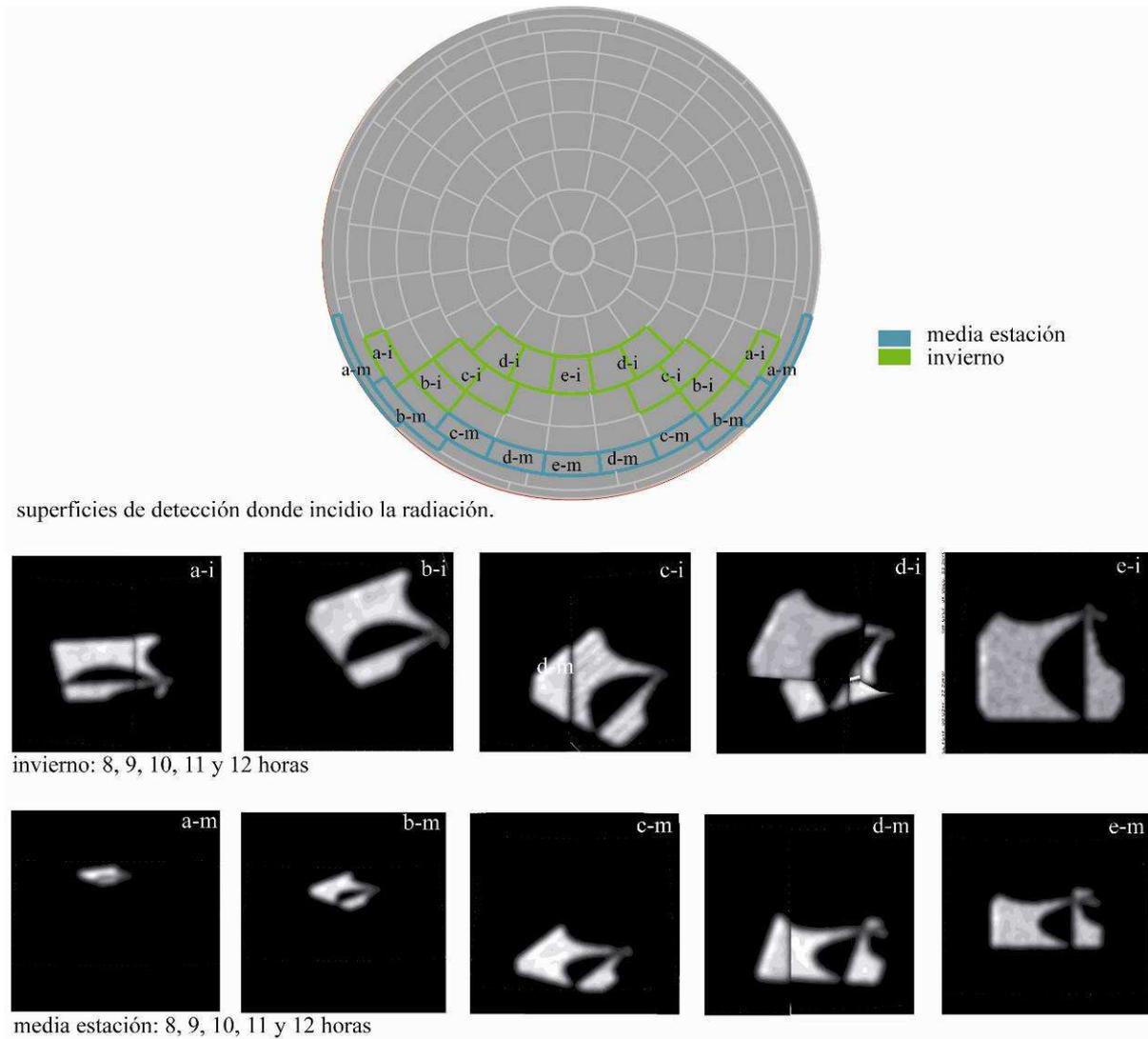


Fig. 18. Imágenes de la distribución y ubicación en la semiesfera de las superficies de detección. TracePro®.

El método de análisis utilizado, permite observar la distribución de la transmitancia bidireccional en la porción visible de la radiación solar, a distintas horas de un día medio de dos estaciones calculadas, como puede verse en las imágenes, la mancha solar persiste, al tener el elemento de control una importante y sectorizada superficie opaca en relación con la trama de pequeños orificios.

Esto no permitiría una homogeneidad lumínica, principalmente en la estación invernal (menor altitud solar por ende mayor penetración de luz solar directa) y en las estaciones de mayor altitud solar la permeabilidad es muy reducida.

5. CONCLUSIONES

Las morfologías y tecnologías de envolventes edilicias tienen un impacto directo en la luz natural disponible en los espacios interiores en el período diurno. Sus consecuencias son de orden ambiental, rendimiento visual, confort visual y energía eléctrica para iluminación artificial. El tipo de uso de los espacios interiores conexos a la envolvente de fachadas acristaladas con envolventes de control solar del tipo de chapas perforadas puede ser analizado con herramientas de precisión.

La propagación del flujo de luz solar en espacios interiores de un edificio sólo puede ser evaluada, con el conocimiento de las propiedades fotométricas bidireccionales de estos materiales de fachadas. En el caso analizado se obtuvieron los datos de la transmitancia bidireccionales en dos estaciones, la mayor transmitancia se dará con ángulos de altitud solar baja (invierno-máximo asoleamiento de fachada norte vidriada) y para el mediodía solar alcanzando un valor de 11.48 sr^{-1} . En el caso de primavera-otoño la BTDF para la misma hora es de 4.53 sr^{-1} . Este tipo de análisis permitiría, ya en el nivel del proyecto, definir la combinación adecuada de materiales vidriados y elementos de control solar, que serían apropiados a una situación de iluminación dada y el logro de confort visual para los usuarios. Si se verifica desde el diseño y se respeta lo diseñado en la obra construida para evitar el deslumbramiento en espacios de uso visual exigido por el tipo de tarea, los usuarios no deberán anular las ventanas y consecuentemente se disminuirá el uso de la luz artificial (electricidad) para cubrir las necesidades de iluminación diurna.

El estudio demostró que la incidencia de luz solar directa al atravesar las perforaciones y bloquearse en las partes opacas del patrón, se proyecta de manera poco difuminada y que

genera contrastes con manchas de sol sobre posibles superficies de plano de trabajo, reproduciendo el patrón de diseño con contornos borrosos.

Asimismo vemos que se trata de un sistema de control solar del tipo de función protectora, siendo estos los que bloquean o tamizan la entrada de luz solar directa, generando espacios sombríos. Lo que resulta inadecuado frente a la presente crisis energética, dado que para regiones de clima luminoso soleado (Mendoza) con una gran disponibilidad de radiación solar y específicamente para fachada norte se recomiendan sistemas de función de redirección, que redirigen los rayos de sol a la zona deseada (ej. estantes de luz, vidrios prismáticos, laser cut panel, sistemas anidólicos) o bien una combinación de sistemas. Optimizando el uso de la radiación solar disponible y previniendo el deslumbramiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Lambda Research Corporation por la concesión de la licencia del Software TracePro® para su utilización en los estudios relacionados al desarrollo de la Tesis Doctoral MAVILE, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, con beca doctoral CONICET de la tesista Ayelén Villalba, de la cual forma una parte del presente artículo.

REFERENCIAS

- Andersen, M., Rubin M., Scartezzini, J. L. (2003) Comparison between ray-tracing simulations and bidirectional transmission measurements on prismatic glazing. *Solar Energy*, **74**, 2, 157-173. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03001154>)
- Andersen, M. (2004). Innovative Bidirectional Video-Goniophotometer for Advanced Fenestration Systems. Tesis,. (http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2004/2941/EPFL_T_H2941.pdf)
- Carrington, K. D. (2006). A Photometric Characterization Methodology for Daylighting Fixtures. (Under the direction of Wayne Place.) PhD Tesis. North Carolina State University..
- de Boer, J. (2006) Goniophotometry and assessment of bidirectional photometric properties of complex fenestration systems. *Energy and Buildings*, **38** (7), pp. 836-848.
- Kraus, J. (2009). Evolutionary Performance: Passive Design for a Hotel in Central India. *Design Principles and Practices: An International Journal*, **3**, 6. ISSN 1833-1874. <http://www.Design-Journal.com>.
- Köster, H. (2004). Dynamic Daylighting Architecture: Basics, Systems, Projects. Basel: Birkhäuser.
- Pattini, A., Rodriguez, R. Lasagno, C. Villalba, A. Córca, L. Ferrón, L. Monteoliva, J.M. (2010) La iluminación natural y los techos vidriados. El caso de biblioteca en clima soleado. X Congreso Panamericano de Iluminación Lux América. Valparaíso, Chile
- Pattini, A., de Rosa, C., Kirschbaum, C. (2001) Medición de las características fotométricas e sistemas de iluminación natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **5**, 2001. Pág. 8.79-8.84 ISSN 0329-5184.
- WINDOW 6.2 / THERM 6.2. (2008) Research Version User Manual. Windows & Daylighting Group Building Technologies Program Environmental Energy Technologies Department Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley. (<http://windows.lbl.gov/software/window/6/WINDOW6.2-THERM6.2ResearchDoc.pdf>).