



Análisis experimental de la transmisión solar de dos tipos de protecciones solares para distintas posiciones en Montevideo, Uruguay

Lucía Pereira^a, Lucía Gutiérrez^b, Daniel Sosa^c, Noel López^d, Magdalena Camacho^e

^a *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU) de la Universidad de la República (UdelaR), Uruguay, lpereira@fadu.edu.uy*

^b *FADU, UdelaR, Uruguay, lgutierrez@fadu.edu.uy*

^c *FADU, UdelaR, Uruguay, dsosa@fadu.edu.uy*

^d *FADU, UdelaR, Uruguay, marialop@fadu.edu.uy*

^e *FADU, UdelaR, Uruguay, mcamacho@fadu.edu.uy*

RESUMEN: La arquitectura de las últimas décadas promueve la utilización del vidrio como lenguaje expresivo. En un clima templado como el de Montevideo, este hecho puede tener efectos negativos sobre el ambiente interior, el confort y el consumo energético. Esto implica la necesidad de determinar criterios de diseño para mantener niveles adecuados de confort térmico y lumínico con un uso eficiente de la energía. Este artículo evalúa el comportamiento de algunas protecciones solares frente a la radiación solar para las condiciones locales de Montevideo. Se presentan resultados experimentales para dos protecciones solares (tela screen y chapa perforada trapezoidal) ensayadas en condiciones de cielo real, en posición vertical para tres orientaciones (este, norte y noroeste) y en posición normal a la radiación solar directa incidente. La determinación de la transmisión solar para las protecciones evaluadas, permite poner en discusión el factor solar como parámetro representativo del comportamiento de las protecciones solares y su utilidad como herramienta de diseño. El análisis, permite concluir que el comportamiento de las protecciones solares es dinámico frente a la radiación solar y está estrechamente vinculado a su posición relativa al sol -ángulo de la radiación incidente- y a la geometría de la protección solar.

PALABRAS CLAVE: transmisión solar, factor solar, protección solar, eficiencia energética.

1 INTRODUCCIÓN

La tendencia de la arquitectura de las últimas décadas promueve la utilización del vidrio y la transparencia como lenguaje expresivo frente a una fascinación por la luz y la ligereza en el diseño. Las ventanas permiten el contacto visual, la entrada de luz y la ventilación a sus ocupantes, pero, como parte de la envolvente, los cerramientos transparentes deben estar cuidadosamente diseñados prestando especial atención por su alta conductividad térmica y su comportamiento frente a la radiación solar (transparente a la radiación solar de onda corta y opaco a la de onda larga). Para evaluar el desempeño de los cerramientos transparentes existen dos indicadores que se relacionan con el manejo de la energía térmica: transmitancia térmica U ($W/m^2.K$) y factor solar FS (%). El FS, o coeficiente de ganancia solar (por sus siglas en inglés SHGC), es la fracción de irradiancia incidente que ingresa por una ventana, e incluye la energía transmitida directamente y la reemitida. Investigaciones recientes muestran que estos indicadores no son suficientes para evaluar el desempeño de los cerramientos transparentes. Stazi et al. (2014) [1] identifican la incidencia de algunos factores claves: la geometría, la materialidad y su colocación (interior y exte-

rior). Mientras que Mainini et al. (2014) [2] estudian la efectividad de las protecciones solares en función de sus condiciones geométricas y grado de apertura, identificando al ángulo de incidencia de la radiación solar como factor clave del desempeño térmico. Por su parte, Bustamante et al. (2014) [3] y Appelfeld et al. (2012) [4] estudian el comportamiento de los Complex Fenestration System (CFS), que considera el desempeño conjunto de ventana y sistema de protección solar frente a los ángulos de incidencia de la radiación solar. Identifican que los valores a incidencia normal no son un indicador preciso para sistemas con dependencia angular como los CFS.

Este artículo evalúa el comportamiento de dos protecciones solares frente a la radiación solar de onda corta para diferentes posiciones y orientaciones en Montevideo y la relación de los resultados obtenidos con los valores de transmisión solar utilizados para el cálculo del factor solar.

2 METODOLOGÍA

La evaluación del comportamiento de las protecciones solares frente a la radiación solar se realizó de forma experimental y analítica. Se midieron muestras de protecciones solares en condiciones de cielo real, en la ciudad de Montevideo - Uruguay ($34^{\circ}54'35''S$, $56^{\circ}9'49''O$), cuya clasificación climática de Köppen es Cfa y tiene un promedio anual de irradiación global en plano horizontal de $4.58 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ (Laboratorio de Energía Solar - UdelaR). Las protecciones solares ensayadas fueron: venecianas, paneles (chapa perforada curva y trapezoidal) y rollers (tela screen). En este artículo se presentan los resultados para la tela screen -visillo fijo, color blanca, calada al 5% (PS1)- y la chapa perforada trapezoidal -material aluzinc, color aluminio, terminación de pintura polyester al horno, perforación 20% (PS2)-. Se confeccionó como dispositivo de ensayo, una caja cúbica de 0.70 m de lado para ubicar los instrumentos de medición (Figura 1), con una cara libre para posicionar las protecciones solares. Su envolvente se diseñó para evitar el sobrecalentamiento y su consecuente emisión de radiación de onda larga que pudiese interferir en los registros. Las mediciones se efectuaron entre enero y mayo de 2019, en días con condición de cielo despejado, descartando en el procesamiento de datos los periodos constatados de nubosidad.

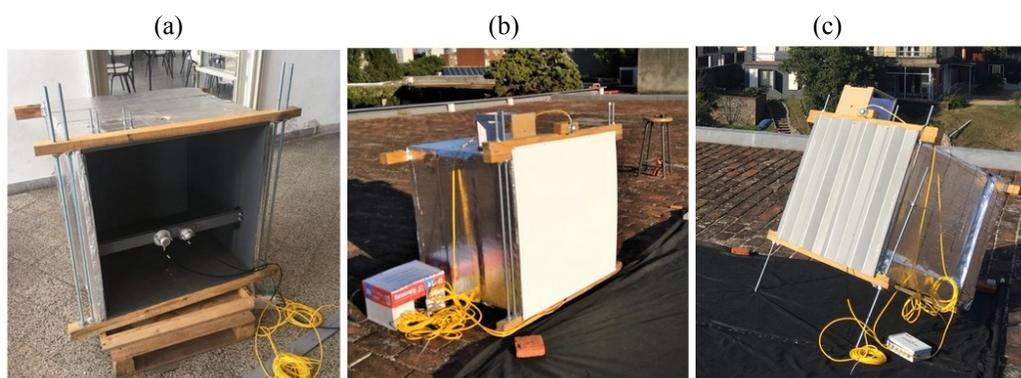


Figura 1 - Dispositivo de ensayo de protecciones solares; (a) instrumentos colocados al interior; (b) medición con PS1 en posición vertical; (c) medición con PS2 en posición inclinada, normal a la radiación incidente.

Las protecciones se ensayaron para los planos verticales de orientación este, norte y noroeste durante las horas en que el plano de estudio recibe mayor radiación solar directa. Adicionalmente, se realizaron mediciones al mediodía solar con el dispositivo de ensayo inclinado, orientando la protección solar normal a la radiación incidente y considerando una desviación de hasta 5 grados, según ANSI/NFRC 200-2014 [5]. La adquisición de datos de radiación de onda corta al interior del prototipo y de radiación incidente se realizó con piranómetros SPLite 2 Kipp&Zonen.

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presentan los resultados obtenidos de los niveles de radiación exterior -incidente-, los niveles de radiación registrados al atravesar la protección solar -transmitida- y la relación entre ellos -transmisión solar- expresada en porcentaje, para cada tipo de protección y orientación ensayada.

3.1 Protección solar “tela Screen”, PSI

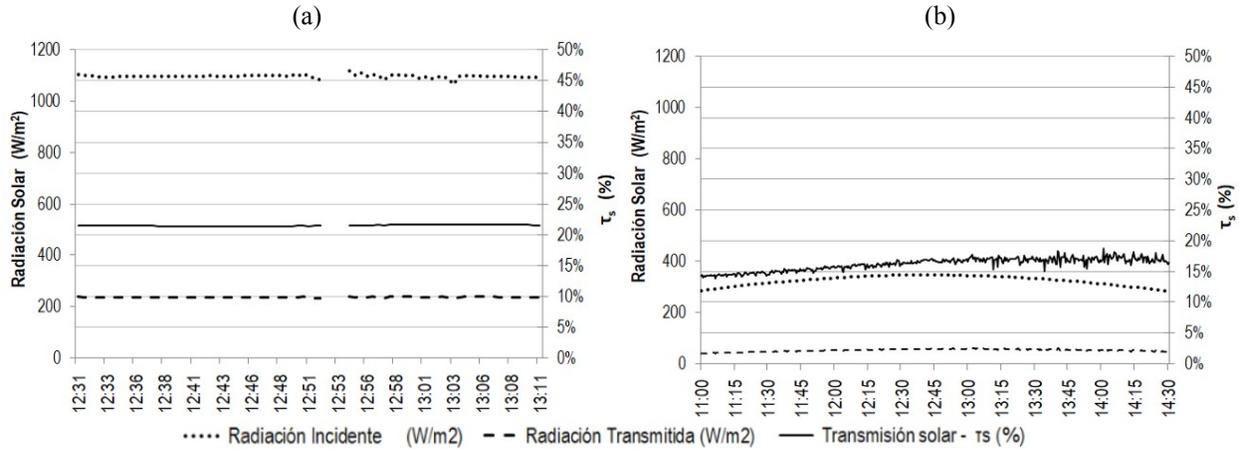


Figura 2 - Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) en PSI para diferentes posiciones: (a) normal a la radiación solar directa incidente; (b) plano vertical -orientación norte-.

En la Figura 2(a), se muestran las mediciones en condición normal a la radiación directa incidente. Se observa un comportamiento uniforme con un promedio de transmisión solar de 21.5%. Para la orientación norte -plano vertical-, Figura 2(b), los porcentajes de transmisión solar van aumentando desde un 14.3% al inicio (11:00hs) con una altura solar (H) de 59.8° y azimut (Z) 66.3° , hasta alcanzar al mediodía solar (12:56hs, $H=74.3^\circ$, $Z=0.2^\circ$) el 16.8%. Luego se mantiene con oscilaciones mínimas sobre ese valor hasta finalizar la medición (14:30hs, $H=64.1^\circ$, $Z=301.3^\circ$). La medición presentada en la figura 2(a) respecto a la 2(b) se realizó para un mismo Z y diferente H , obteniendo una diferencia entre ambas mediciones de entre 4.7% y 7.2%.

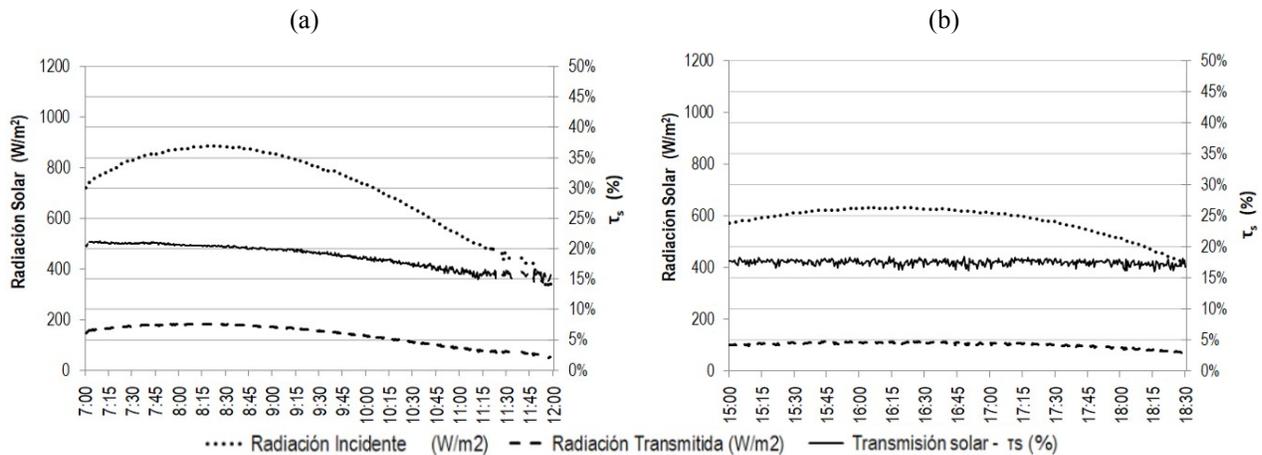


Figura 3 - Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) en PSI para plano vertical en diferentes orientaciones: (a) este; (b) noroeste.

Para la PS1 en la orientación este, Figura 3(a), más atrás, la transmisión solar es variable. Esta relación tiende a disminuir a medida que avanza la medición, variando entre 20.5% al inicio (7:00hs, H=12.0°, Z=105.9°), y un 14.3% al finalizar (12:00hs, H=70.3°, Z=42.8°). En la orientación noroeste, Figura 3(b), con mediciones realizadas entre las 15:00hs (H=58.6°, Z=296.3°) y las 18:30hs (H=16.2°, Z=257.6°), se puede observar un comportamiento más estable, con variaciones durante toda la medición entre el 16.0% y el 18.3%. Si bien la tela *screen* no presenta a priori una fuerte condicionante geométrica, a medida que varía su posición relativa con respecto al sol, varía el porcentaje de radiación transmitida. El valor medido en condición normal (21.5%) se aproxima únicamente al registrado a las 7:00hs en la orientación este, y representa el mayor valor de transmisión solar registrado para esta protección. Para el resto de las mediciones se registraron valores de hasta un 7.0% por debajo de la medición normal.

3.2 Protección solar “chapa perforada trapezoidal” PS2

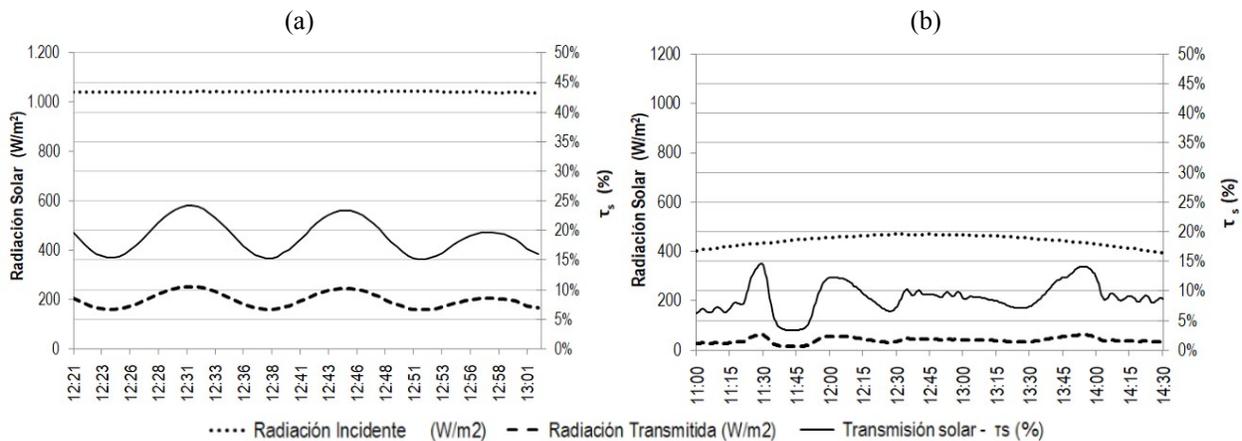


Figura 4 - Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) de PS2 para diferentes posiciones: (a) normal a la radiación incidente; (b) plano vertical -orientación norte-.

En la Figura 4(a), correspondiente a la PS2 en condición normal a la radiación incidente se identifica un comportamiento fluctuante de la radiación transmitida, con picos y valles, que se refleja en valores de transmisión solar que oscilan entre el 15.1% y el 24.2%. La transmisión solar puede variar en un 8.9% al considerar un pico -24.2%, 12:31hs- y un valle -15.3%, 12:38hs-, aún con un movimiento relativo del sol muy acotado. Para la orientación norte, Figura 4(b), el porcentaje de radiación que pasa a través de la protección mantiene un comportamiento fluctuante, con valores máximos del 14.7% (11:29hs, H=60.4°, Z=48.8°) y mínimos del 3.4%, 16 minutos después (11:45hs, H=62.7°, Z=42.3°). La mediciones de las Figura 4(a) y 4(b) presentan el mismo Z, variando la H y la extensión del periodo de medición, sin embargo, se puede observar que los valores obtenidos para la posición vertical son inferiores a los obtenidos en posición normal.

La transmisión solar de la PS2 en orientación este se muestra en la Figura 5(a), más adelante. El mayor nivel, 25.0%, se registra al comienzo de la medición (7:05hs, H=8.1°, Z=98.7°), y el menor, 6,6%, a las 12:00hs, H=63.2°, Z=33.3°. A partir de las 11:20hs las fluctuaciones disminuyen, tendiendo a un comportamiento aproximadamente lineal. La tendencia general de la curva de transmisión solar muestra una disminución en los porcentajes a medida que avanza la medición. Para la orientación noroeste, Figura 5(b), al igual en las anteriores mediciones se observa la característica de fluctuación en la radiación que ingresa a través de la protección. En esta orientación se identifica que a pesar de la fluctuación hay una coincidencia entre los niveles máximos y

mínimos de radiación incidente y transmitida; registrándose la mayor transmisión solar de 21.8% (16:20hs, $H=41.4^\circ$, $Z=279.4^\circ$), y la menor de 4.0% (13:07hs, $H=71.2^\circ$, $Z=353.7^\circ$).

Los resultados para la PS2, en todos los casos presentan un comportamiento fluctuante que permite estimar que las variaciones en la transmisión solar están condicionadas por su geometría.

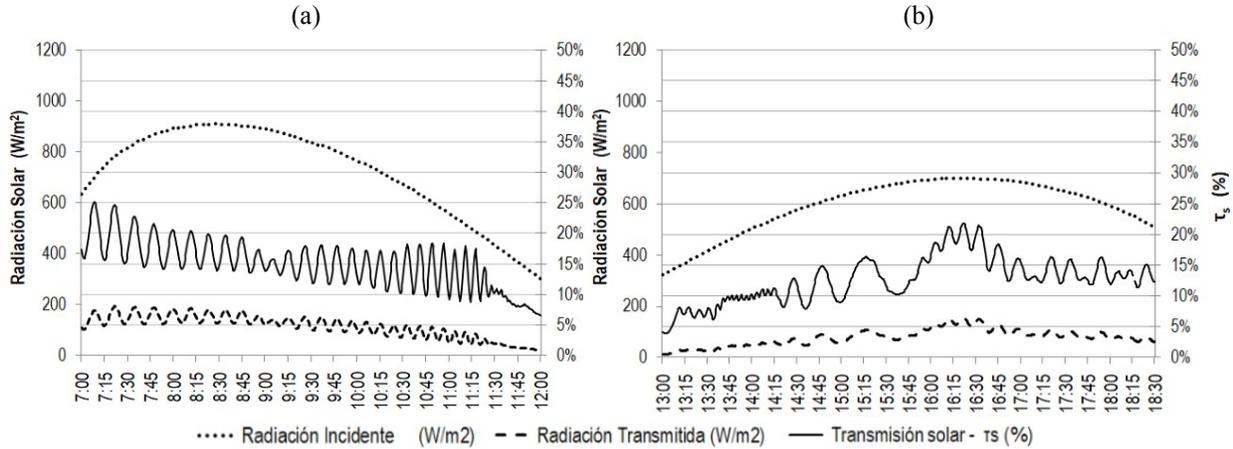


Figura 5 - Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) de PS2 para plano vertical en diferentes orientaciones: (a) este; (b) noroeste.

3.3 Análisis comparativo

En el resumen de resultados de transmisión solar presentado en la Figura 6, es posible observar el comportamiento de ambas protecciones solares para las tres orientaciones analizadas y la condición normal a la radiación incidente. Al analizar el comportamiento de ambas protecciones solares se observa que, para la PS1, el porcentaje de radiación solar que atraviesa la protección describe un comportamiento aproximadamente lineal en todas las posiciones; en cambio la protección PS2, describe un comportamiento fluctuante en todos los casos, identificándose un patrón de picos y valles con una amplitud variable.

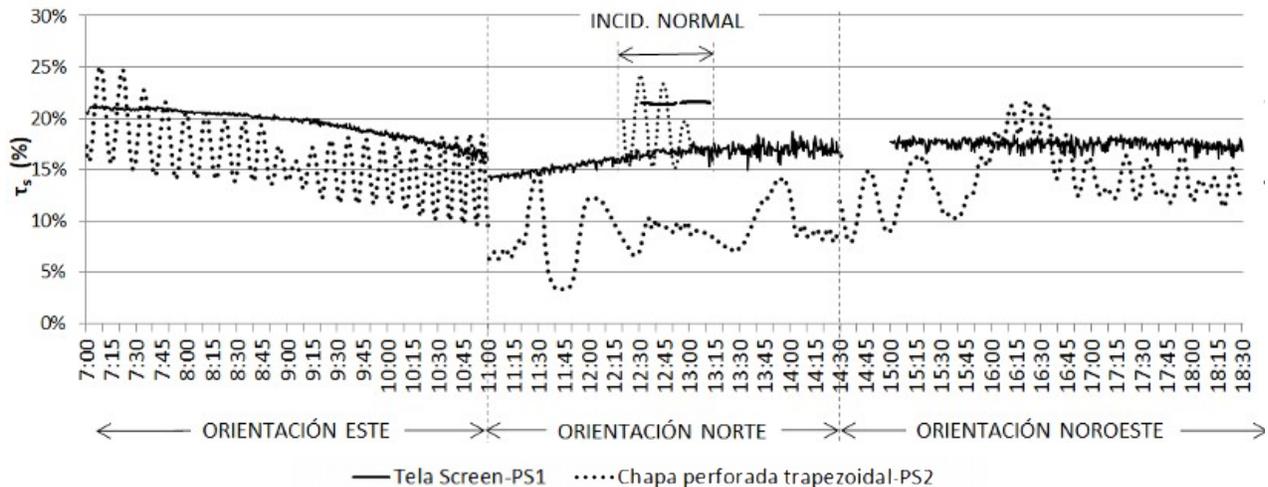


Figura 6 - Transmisión solar (%) de PS1 y PS2 para todas las posiciones y orientaciones.

Estos datos, permiten afirmar que, aun en protecciones de geometría homogénea -PS1- existen desempeños variables según el ángulo de incidencia de la radiación solar. Mientras que, para el caso de la PS2, se constata la incidencia de la geometría compleja en su desempeño como protección solar, registrándose resultados aún más variables. La PS1 presenta un rango de transmisión solar más acotado -14.0% a 21.0%-, mientras que la PS2 presenta mayor variación -3.4% a 25.0%-. Para ambas protecciones los valores más altos de transmisión se encuentran en la orientación este en las primeras horas de la mañana, con incidencia cuasi normal.

4 CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los estudios realizados sobre dos tipos de protecciones solares, cortina de tela screen y chapa perforada trapezoidal, para evaluar la transmisión de radiación solar de onda corta a través de ellas, en diferentes posiciones y orientaciones. En las mediciones realizadas se pudo constatar que el desempeño de las protecciones solares es dinámico frente a la radiación solar y está estrechamente vinculado al ángulo de la radiación incidente, o sea, a su posición relativa al sol, y a la geometría propia de la protección. Por otro lado, la evaluación comparativa de los resultados para ambas protecciones permite identificar que el valor de transmisión solar en condición normal -que corresponde al porcentaje de radiación de onda corta en el cálculo del factor solar- se encuentra por encima de los niveles registrados en condiciones reales de uso en fachada. Esta diferencia podría, por ejemplo, llevar a un sobre dimensionamiento de los cálculos de demanda de refrigeración, o condicionar los niveles de iluminación interior, poniendo en discusión la utilidad del factor solar, como herramienta de diseño. Los datos de este artículo forman parte del proyecto Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC), I+D “Efectos de las características de las ventanas, los vidrios y los dispositivos de protección solar sobre los requerimientos energéticos del edificio y las condiciones de confort térmico y visual”, aun en desarrollo.

5 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a CSIC y a FADU - UdelaR por el apoyo brindado y a todos los compañeros que participaron en el proyecto.

6 REFERENCIAS

- [1] Stazi, F. et al. (2014) Comparison on solar shadings: Monitoring of thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental impact. *Solar Energy* 105, 2014 512–528.
- [2] Mainini, A., Poli, T., Zinzi, M., Speroni, A. (septiembre, 2013). Spectral light transmission measure of metal screens for glass façades and assessment of their shading potential. International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Friburgo, Alemania.
- [3] Appelfeld, D., McNeil, A. y Svendsen, S. (2012). An hourly-based performance comparison of an integrated micro-structural perforated shading screen with standard shading systems. *Energy and Buildings*, 2012. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.03.038.
- [4] Bustamante, W., Vera, S., Prieto, A. y Vásquez, C. (2014). Solar and lighting transmission through complex fenestration systems of office buildings in a warm and dry climate of Chile. *Sustainability*, 2014, 6, 2786-2801. doi:10.3390/su6052786.
- [5] National Fenestration Rating Council (2013) NFRC 200A-2014 *Procedure for Determining Fenestration Attachment Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence*.