

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

**Colectores solares de placa
plana en Uruguay**

**Eficiencia en la producción
de energía eléctrica,
Bolivia.**

**Análisis de dos tipos de
protecciones solares en
Uruguay.**

**Instalación solar de un
proceso productivo,
Argentina.**

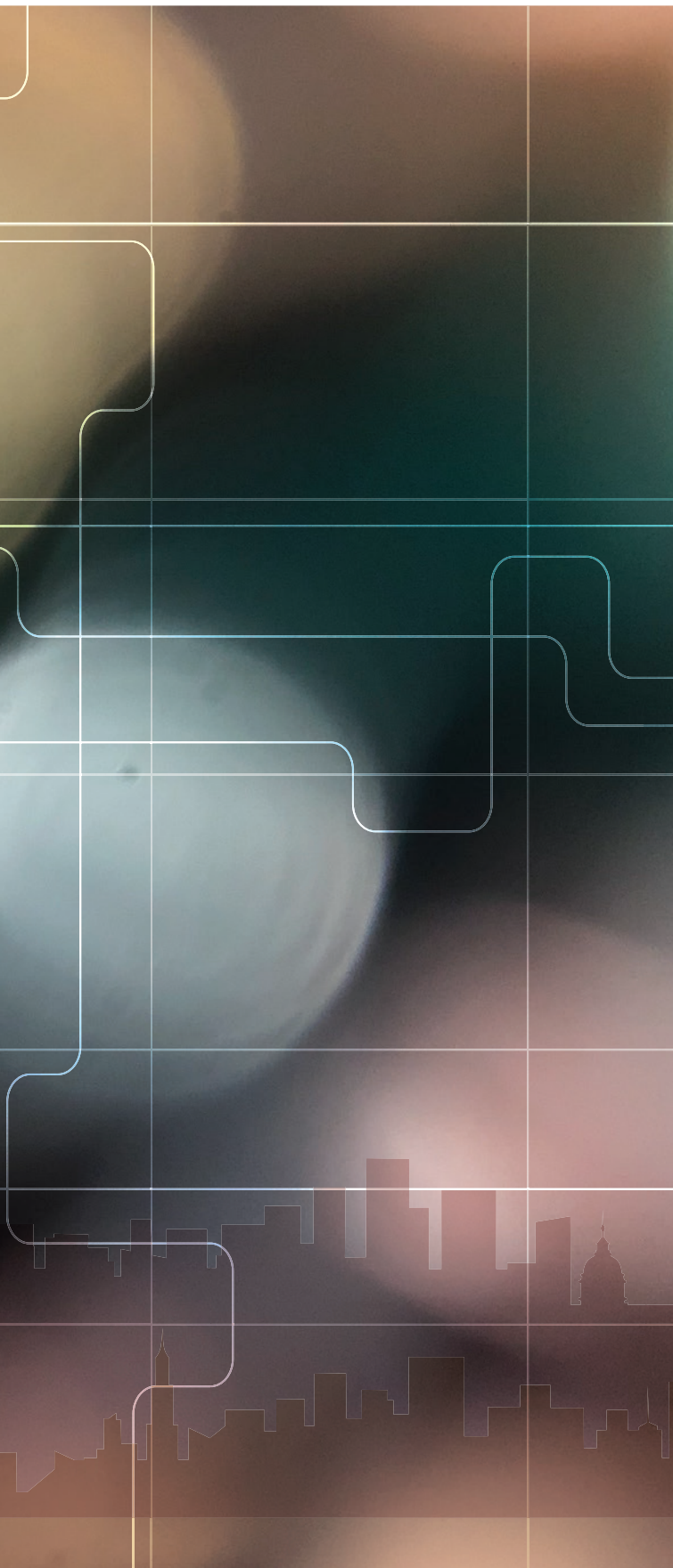
**Permeabilidad al aire
de edificios en Uruguay.**

**Catalizadores para
producción de gas natural.**

**Residuos eléctricos
y electrónicos.**

**Cadena productiva de la
energía y emisión de GEI,
Argentina.**

**Hacia la justicia energética
en México.**



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco. *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

Pablo Garcés. *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.*

Marcelo Vega. *Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM). Uruguay.*

COMITÉ AD-HONOREM

Andrés Romero C.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Leonardo Beltrán.
Institute of the Americas. México.

Manlio Coviello.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Mauricio Medinaceli.
Investigador independiente. Bolivia.

Ubiratan Francisco Castellano.
Investigador independiente. Brasil.

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Blanca Guanocunga. *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).*

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación.*

REVISORES

Aldo Delgado Acevedo.

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Perú.

Alvar Carranza.

Universidad de la República (UdelaR).

Centro Universitario Regional del Este, CURE, Sede Maldonado.

Departamento de Ecología y Gestión Ambiental. Uruguay.

Augusto Manuel Durán.

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Perú.

Claudia Alejandra Pilar.

Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Argentina.

Daniela Flores Ramírez.

Investigadora independiente. México.

Guillermo Garrido.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Argentina.

Gustavo Figueredo.

Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) Argentina.

Henry Milton Espada Romero.

Universidad Pública de El Alto. Bolivia.

José Ricardo Sánchez Martínez.

Investigador independiente. México.

Luis Felipe Gómez Fernández.

Ministerio de Energía y Minas. Perú.

Manuel Enrique Chacón Morales.

Empresa Propietaria de la Red S. A. Costa Rica.

Marco Antonio Flores Barahona.

Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Instituto de Investigación en Energía. Honduras.

Marco Daniel Silva Ramos.

Escuela Politécnica Nacional (EPN). Ecuador.

Maxime Le Bail.

Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente. México.

Pedro Andrés Galione Klot. *Universidad de la República*

(UdelaR). Facultad de Ingeniería. Instituto de Ingeniería

Mecánica y Producción Industrial. Uruguay.

Rafael Bernardi.

Universidad de la República (UdelaR). Uruguay.

Rodrigo Alonso Suárez. *Universidad de la República (UdelaR).*

Facultad de Ingeniería. Uruguay.

Rolando Madriz-Vargas. *Universidad Nacional. Laboratorio*

Energía Solar. Departamento de Física. Costa Rica.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2020. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)

ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y

Fernández Salvador.

Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>

Página web OLADE: www.olade.org

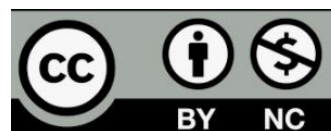
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995

Diseño de la portada y contraportada Ana María Arroyo.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no comprometen a las organizaciones mencionadas.



ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA TRANSMISIÓN SOLAR DE DOS TIPOS DE PROTECCIONES SOLARES PARA DISTINTAS POSICIONES EN MONTEVIDEO, URUGUAY

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE SOLAR TRANSMISSION OF TWO TYPES OF SOLAR PROTECTIONS FOR DIFFERENT POSITIONS IN MONTEVIDEO, URUGUAY

Lucía Pereira Ruchansky ¹, Lucía Gutiérrez Bazterrica ², Daniel Sosa Ibarra ³,
María Noel López Salgado ⁴, Magdalena Camacho Roberts ⁵

Recibido: 14/02/2020 y Aceptado: 31/07/2020
ENERLAC. Volumen IV. Número 2. Diciembre, 2020 (40 - 56)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Roy Wen de Unsplash.

1 Universidad de la República (UDELAR). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Uruguay.
lpereira@fadu.edu.uy
<http://orcid.org/0000-0002-4697-3348>

2 Universidad de la República (UDELAR). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Uruguay.
lugutib@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-9620-2296>

3 Universidad de la República (UDELAR). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Uruguay.
dsosa@fadu.edu.uy
<http://orcid.org/0000-0001-8218-2490>

4 Universidad de la República (UDELAR). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Uruguay.
marianoelopezsalgado@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-3926-1625>

5 Universidad de la República (UDELAR). Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo. Uruguay.
magdalenacr@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-0694-7599>

RESUMEN

La tendencia de 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 y en consecuencia, sobre el confort y consumo de energía. Esto implica la necesidad de determinar criterios de diseño que logren mantener niveles adecuados de confort térmico y lumínico con un uso eficiente de la energía.

La investigación evalúa el comportamiento de algunas protecciones solares frente a la radiación

solar térmica abarcando condiciones de uso en fachadas en Montevideo. El artículo tiene por objetivo presentar 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 perpendicular a la radiación solar directa incidente.

Los resultados de transmisión solar obtenidos de forma experimental, permiten identificar que el comportamiento de las protecciones solares está estrechamente vinculado a su posición relativa al sol -ángulo de radiación incidente- y a la geometría de la protección solar; poniendo en discusión el factor solar como parámetro representativo del comportamiento de las protecciones solares en condiciones de uso y su utilidad como herramienta de diseño.

Palabras clave: Transmisión Solar, Factor Solar, Protección Solar, Radiación Solar, Eficiencia Energética, Cerramientos transparentes, Uruguay.

ABSTRACT

In last decades, architecture promotes the use of glass as an expressive language. In a temperate climate like Montevideo, this fact can have negative effects on the interior environment and, consequently, on thermal comfort and energy consumption. This implies the need to determine design criteria to maintain thermal and light comfort with efficient use of energy.

The research evaluates the behavior of some solar protections against thermal solar radiation, covering conditions of use on facades for local conditions in Montevideo. This article aims to present experimental results for two sunscreens (screen fabric and trapezoidal perforated sheet metal) tested in real sky conditions, in a vertical

position for three orientations (east, north and northwest) and in a position perpendicular to the incident direct solar radiation.

The results of solar transmission obtained experimentally, allow us to identify that the behavior of the solar protections is closely linked to their position relative to the sun - angle of incident radiation - and to the geometry of the solar protection; putting into question the solar factor as a representative parameter of the behavior of solar protections under conditions of use and its usefulness as a design tool.

Keywords: *Solar Transmission, Solar Factor, Solar Protection, Solar Radiation, Energy Efficiency, Fenestration System, Uruguay.*

INTRODUCCIÓN

La tendencia de la arquitectura en 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. En muchos casos, estas expresiones estéticas se anteponen a la posibilidad de brindar condiciones de confort térmico y visual a los ocupantes de forma natural, condicionando al uso de ventilación mecánica y luz artificial.

Para que un edificio pueda ser eficiente y proporcionar confort a sus usuarios debe existir una correcta relación entre su forma, orientación, materialidad y los factores ambientales externos, logrando que las estrategias de diseño sean apropiadas al clima donde se apliquen.

En este sentido, la envolvente debe estar cuidadosamente diseñada de modo de controlar los intercambios de energía, mereciendo especial atención los cerramientos transparentes (conjunto conformado por: marco, vidrio y protección solar), los cuales pueden representar

la principal fuente de pérdida de calor en invierno, por su alta transmitancia térmica, y la principal fuente de ganancia de calor en verano por su comportamiento frente a la radiación solar (transparente a la radiación solar de onda corta y opaca a la radiación solar de onda larga (Serra y Coch, 1995; Maraveas, 2019).

En particular, para optimizar el desempeño térmico y prevenir el sobrecalentamiento en el interior de los locales durante el periodo caluroso es fundamental la correcta utilización de estrategias de diseño que incorporen el control de ganancias de energía por radiación solar, así como considerar desde el proyecto las propiedades térmicas y lumínicas de los componentes de estos cerramientos.

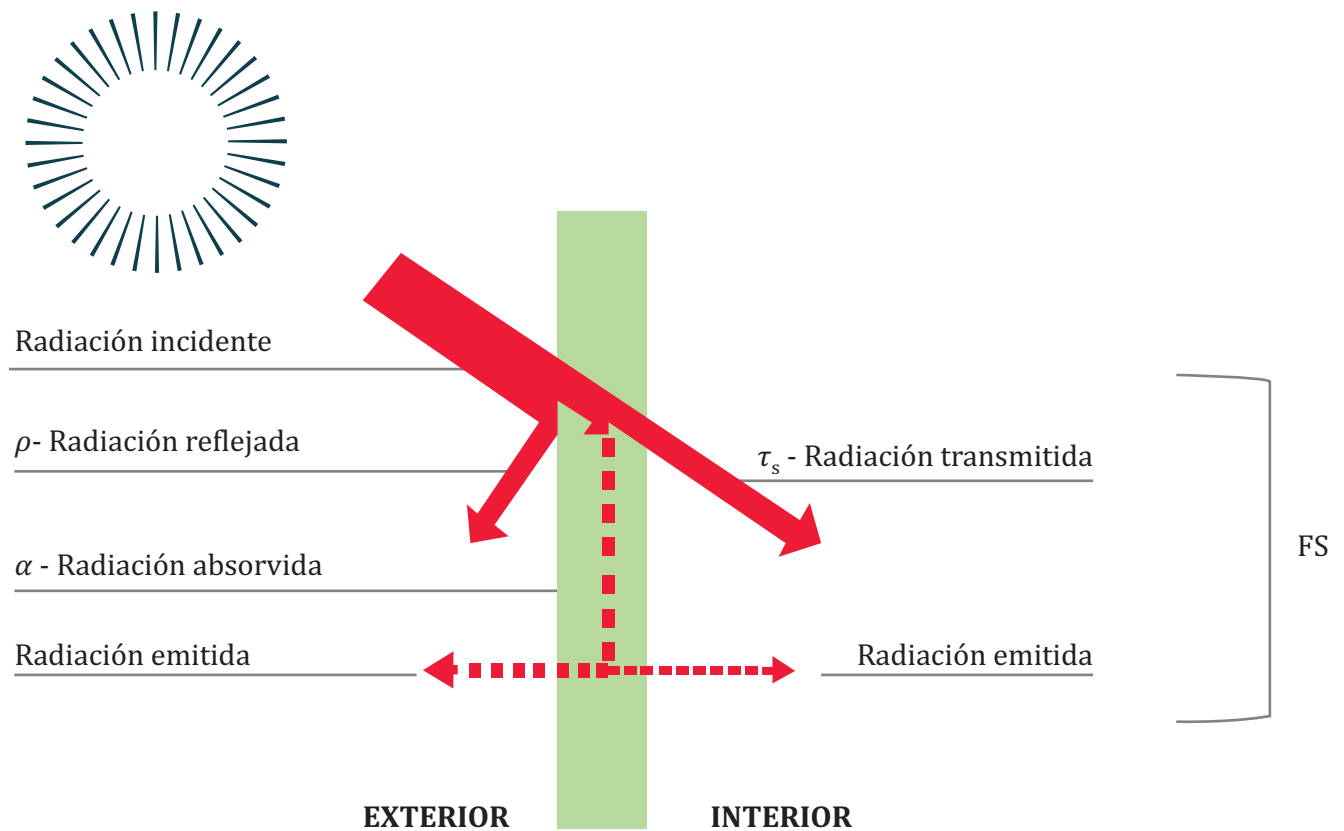
Existen dos indicadores que se relacionan con el manejo de la energía térmica y se utilizan para evaluar el desempeño de los cerramientos transparentes: transmitancia térmica U ($W/m^2.K$) y factor solar (FS). El FS, o coeficiente de ganancia solar (por sus siglas en inglés SHGC), es la fracción de irradiancia incidente que ingresa por una ventana, e incluye la energía transmitida directamente y la reemitida, ver Figura 1. Es un valor entre 0 y 1, donde 0 indica que no se transmite radiación y 1 significa que se transmite la totalidad de la radiación incidente; puede especificarse para cada componente del cerramiento por separado (vidrio y dispositivo de protección solar) o para todo el conjunto del cerramiento transparente.

Investigaciones recientes demuestran que estos indicadores, tradicionalmente utilizados, no son suficientes para evaluar el desempeño energético de los cerramientos transparentes. Stazi et al. (2014) identifican la incidencia de algunos factores claves en el comportamiento físico-térmico de las protecciones solares como la geometría (inclinación, ancho y separación entre lamas), materialidad (calor específico y conductividad), y su colocación (interior y exterior). Dentro de esta misma línea, Mainini et al. (2014) estudian la efectividad de estos dispositivos en función

de sus condiciones geométricas y textura (grado de apertura), identificando al ángulo de incidencia de la radiación solar como factor clave del desempeño energético. Por su parte, Bustamante et al. (2014) y Appelfeld et al. (2012) estudian el comportamiento de los sistemas complejos de ventanas (CFS, por sus siglas en inglés), en los cuales consideran el

desempeño conjunto de ventana y sistema de protección solar frente a diferentes ángulos de incidencia de la radiación solar; estos autores identifican que los niveles de transmisión solar a incidencia normal no son un indicador preciso para sistemas con dependencia angular como los CFS, dentro de los que se incluyen por ejemplo las venecianas o chapa perforada.

Figura 1. Esquema radiación incidente y transmitida a través de un cerramiento transparente



Fuente: Elaboración propia

Este artículo evalúa en primer instancia el comportamiento de dos protecciones solares frente a la radiación solar de onda corta a través de mediciones experimentales, para diferentes posiciones y orientaciones en Montevideo, presentando un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en las diferentes situaciones evaluadas, y la relación de los mismos con los

valores de transmisión solar normalmente utilizados para el cálculo del factor solar. En una segunda etapa se plantean estudios preliminares tendientes a la caracterización geométrica de la transmisión solar, realizadas a partir del estudio de la variación de la transmisión solar en función de ángulo de incidencia de la radiación directa, referido al plano de la protección.

METODOLOGÍA

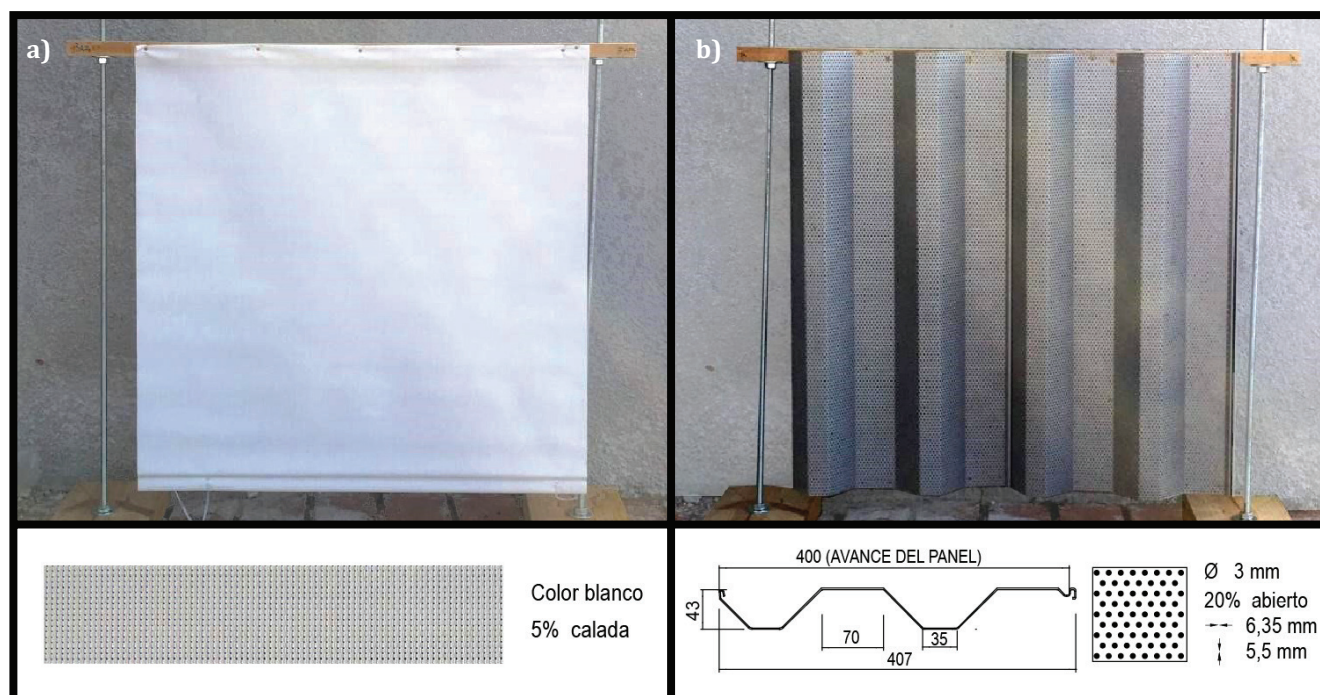
La evaluación del comportamiento de las protecciones solares frente a la radiación solar se realizó de forma experimental y analítica. Se midieron muestras de protecciones solares en condiciones de cielo real en el período caluroso, en la ciudad de Montevideo - Uruguay ($34^{\circ}54'35''S$, $56^{\circ}9'49''O$), cuya clasificación climática de Köppen es Cfa y tiene un promedio anual de irradiación global en plano horizontal de $4.58 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ (Alonso-Suárez et al., 2014).

Las protecciones solares ensayadas se definieron en base a un relevamiento de ventas

del mercado nacional, compras estatales y un estudio de antecedentes de investigaciones similares, obteniendo las siguientes tipologías de protecciones como casos de estudio: venecianas (exteriores e interiores), paneles (chapa perforada curva y chapa perforada trapezoidal) y *rollers* (tela *screen*).

En este artículo se presentan los resultados para la tela *screen* -visillo fijo, color blanca, calada al 5% (identificada como PS1)- y la chapa perforada trapezoidal -material aluzinc, color aluminio, terminación de pintura polyester al horno, perforación 20% (identificada como PS2)- ver Figuras 2a y 2b.

Figura 2. Características geométricas y textura de protecciones solares ensayadas: (a) PS1; (b) PS2



Fuente: Elaboración propia con datos de proveedores

Se confeccionó como dispositivo de ensayo una caja cúbica de 0.70 m de lado para ubicar los instrumentos de medición, 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, para ello se aisló

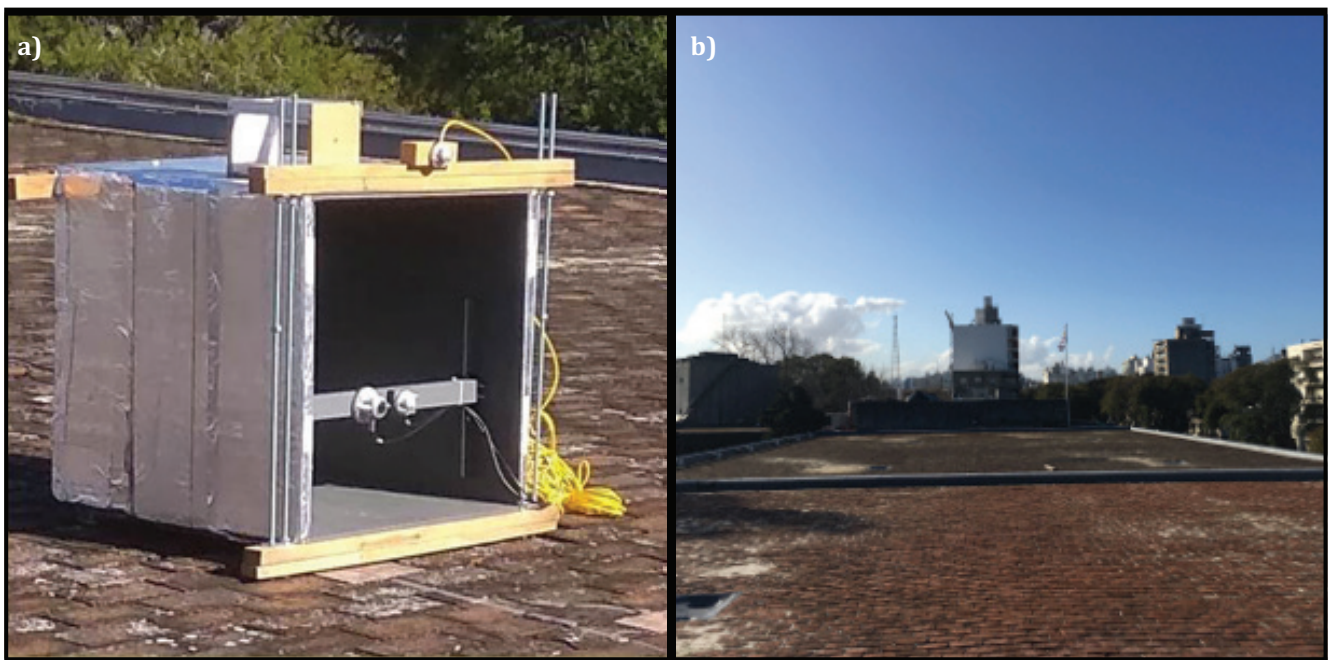
con poliestireno expandido de 2cm de espesor con terminación exterior con membrana asfáltica con revestimiento de aluminio. Las mediciones se efectuaron entre enero y mayo de 2019, en días con condición de cielo despejado, descartando en el procesamiento de datos periodos puntuales en que se constató nubosidad.

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, los cuales presentan un desempeño adecuado para este tipo de mediciones (Bustamante et al., 2014). El piranómetro interior se ubicó paralelo al plano de la protección solar al interior de la caja, abarcando dentro de su ángulo visual únicamente la superficie de la protección solar, el piranómetro exterior -para medir la radiación incidente- se ubicó en la misma

posición relativa que el piranómetro interior, ver Figura 3(a). Los instrumentos se sincronizaron para registrar datos cada 30 segundos.

Las mediciones se realizaron en la azotea de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de la República en Montevideo, Uruguay, ver Figura 3(b). La ubicación del dispositivo se determinó considerando las distancias para minimizar la incidencia de obstrucciones cercanas que pudieran interferir en la correcta toma de datos.

Figura 3. Dispositivo de ensayo de protecciones solares: (a) instrumentos colocados al interior; (b) emplazamiento

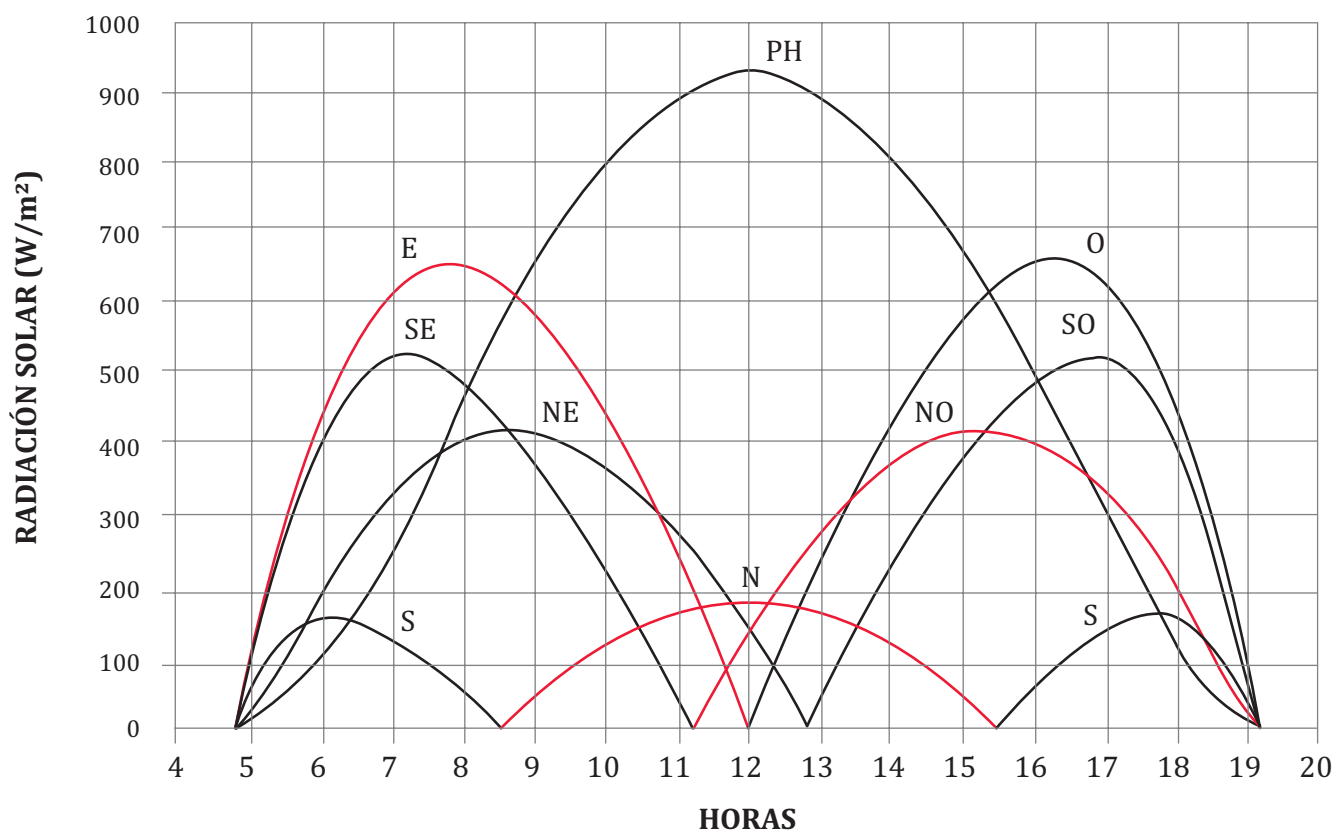


Fuente: Elaboración propia

Las protecciones se ensayaron para los planos verticales de orientación este, norte y noroeste abarcando las horas en que el plano de estudio recibe los mayores niveles de radiación solar directa, de acuerdo a la distribución teórica de la radiación por plano para el solsticio de verano en Montevideo, ver Figura 4. Considerando que las fachadas este y oeste son simétricas a la radiación, las mediciones realizadas abarcan un amplio rango de posi-

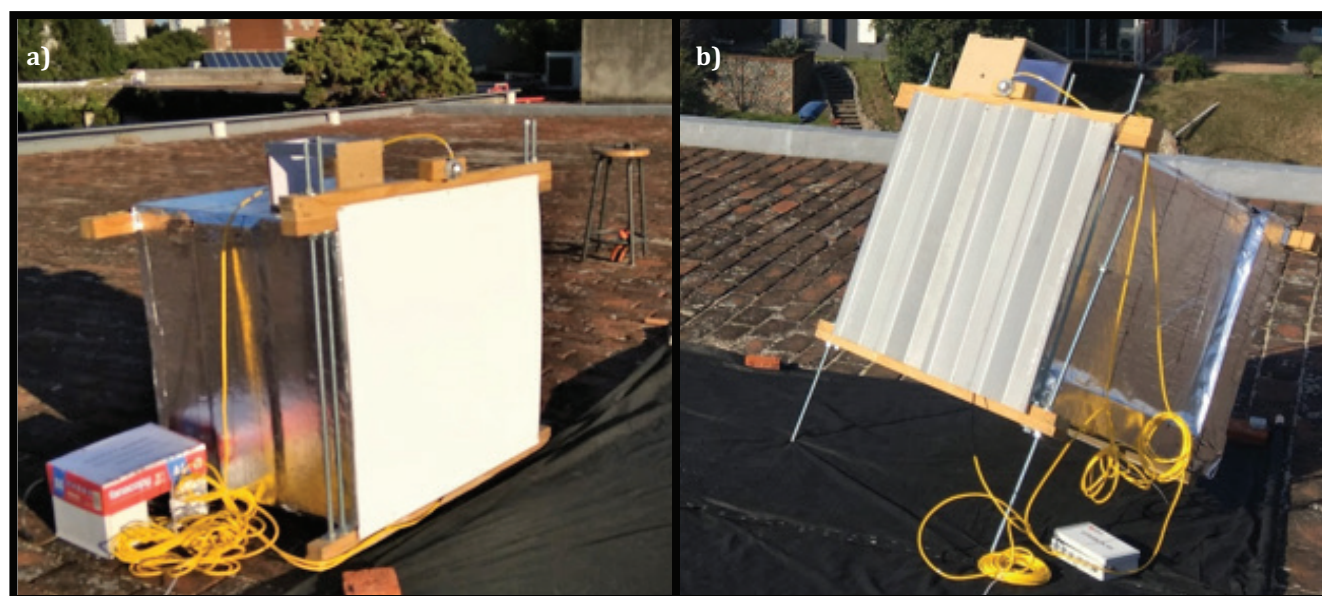
ciones características de las fachadas de los edificios. Adicionalmente, se realizaron mediciones durante el mediodía solar con el dispositivo de ensayo inclinado, orientando la protección solar normal a la radiación solar directa incidente y considerando una desviación de hasta 5 grados, según ANSI/NFRC 200-2014 [5]. En la Figura 5 se pueden observar las posiciones del dispositivo de ensayo durante las mediciones.

Figura 4. Niveles de radiación solar incidente por plano (W/m^2) para solsticio de verano en Montevideo



Fuente: Cátedra Acondicionamiento térmico FADU-UdelaR, 2000

Figura 5. Dispositivo de ensayo de protecciones solares: (a) medición con PS1 en posición vertical; (b) medición con PS2 en posición inclinada, normal a la radiación incidente



Fuente: Elaboración propia

Las protecciones solares se ensayaron sin la utilización de vidrio, considerando que los valores de factor solar, reflexión lumínica y transmitancia térmica son conocidos y ensayados en laboratorio según norma ISO 15099:2003 para los distintos tipos de vidrios. La supresión del vidrio simplificó las mediciones. De modo que se evitaron por

un lado, las interacciones existentes entre el vidrio y la protección solar que no permitirían identificar el comportamiento aislado de la misma, además del efecto invernadero al interior de la caja que generaría la presencia de vidrio, afectando las mediciones y los resultados.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, mediante mediciones, 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.

Protección solar “tela Screen”, PS1

En la Figura 6(a), se muestran las mediciones de radiación solar global, orientando la protección solar normal a la radiación solar directa incidente, identificando en la figura con una línea vertical la hora legal correspondiente al mediodía solar. Se observa un comportamiento uniforme con un promedio de transmisión solar de 21.5%. Para la orientación norte -plano vertical-, Figura 6(b), los porcentajes de transmisión solar van aumentando desde un 14.3% al inicio (11:00h) con una altura solar (H) de 59.8° y azimut (Z) 66.3°, hasta alcanzar al mediodía solar el 16.8% (12:56h, H=74.3°, Z=0.2°). Luego se mantiene con oscilaciones mínimas sobre ese valor hasta finalizar la medición (14:30h, H=64.1°, Z=301.3°).

La medición presentada en la Figura 6(a) respecto a la 6(b) se realizó para un mismo azimut y diferente altura, obteniendo una diferencia porcentual en la transmisión solar registrada entre ambas mediciones. Dicha diferencia es variable, con un nivel cercano al 4.7% considerando el inicio de las mediciones (diferencia entre 21.5% y 16.8%), y próxima al 7.2% considerando el valor promedio máximo alcanzado en ambas mediciones del mediodía solar en adelante (diferencia entre 21.5% y 14.3%).

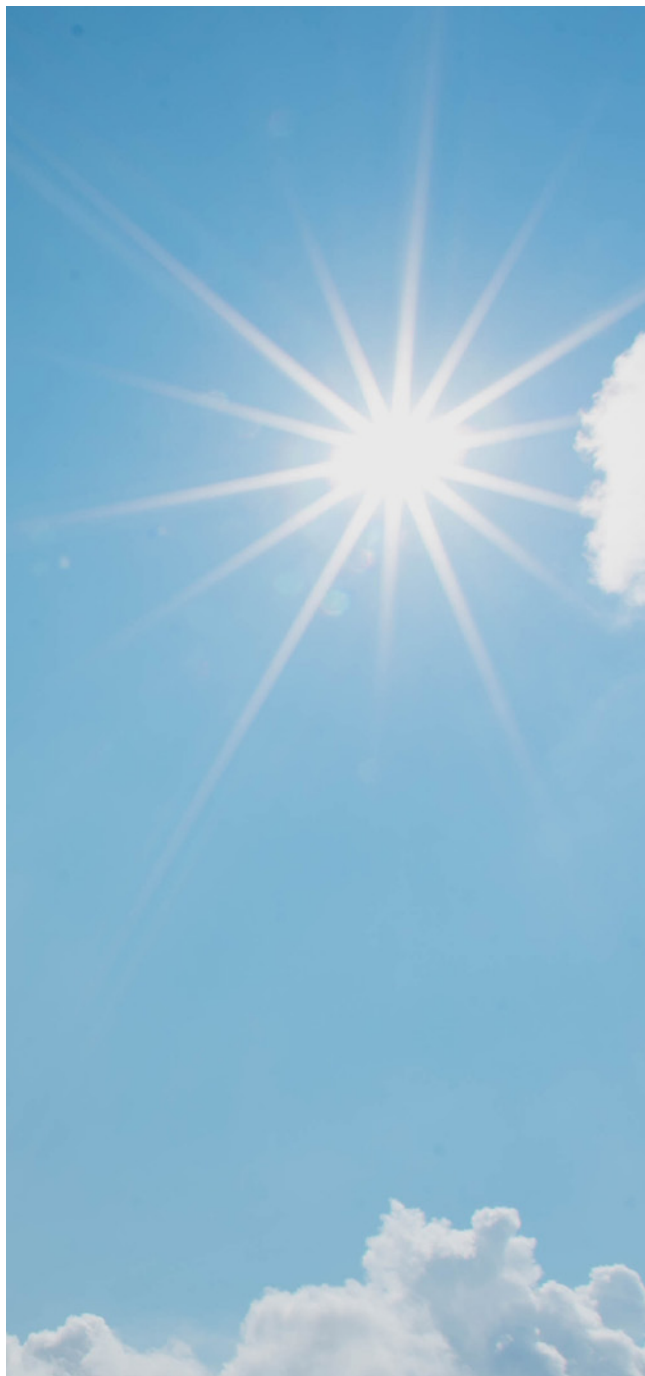
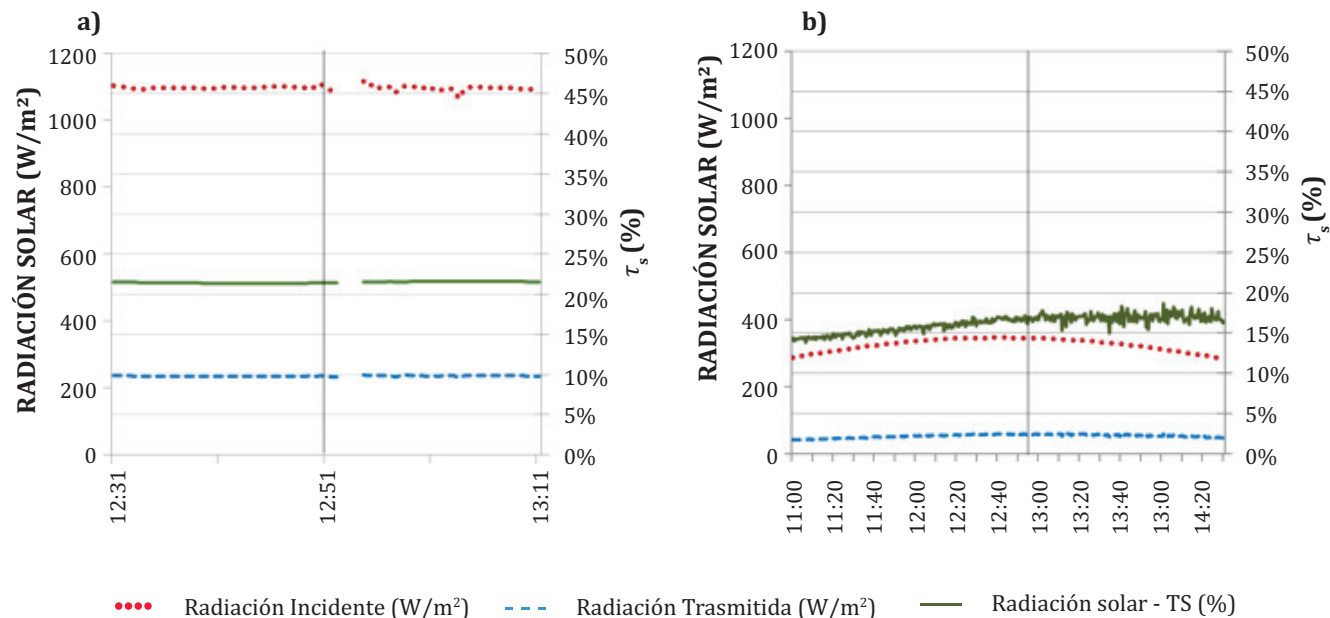


Figura 6. Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) en PS1 para diferentes posiciones: (a) normal a la radiación solar directa incidente; (b) plano vertical-orientación norte-



Fuente: Elaboración propia

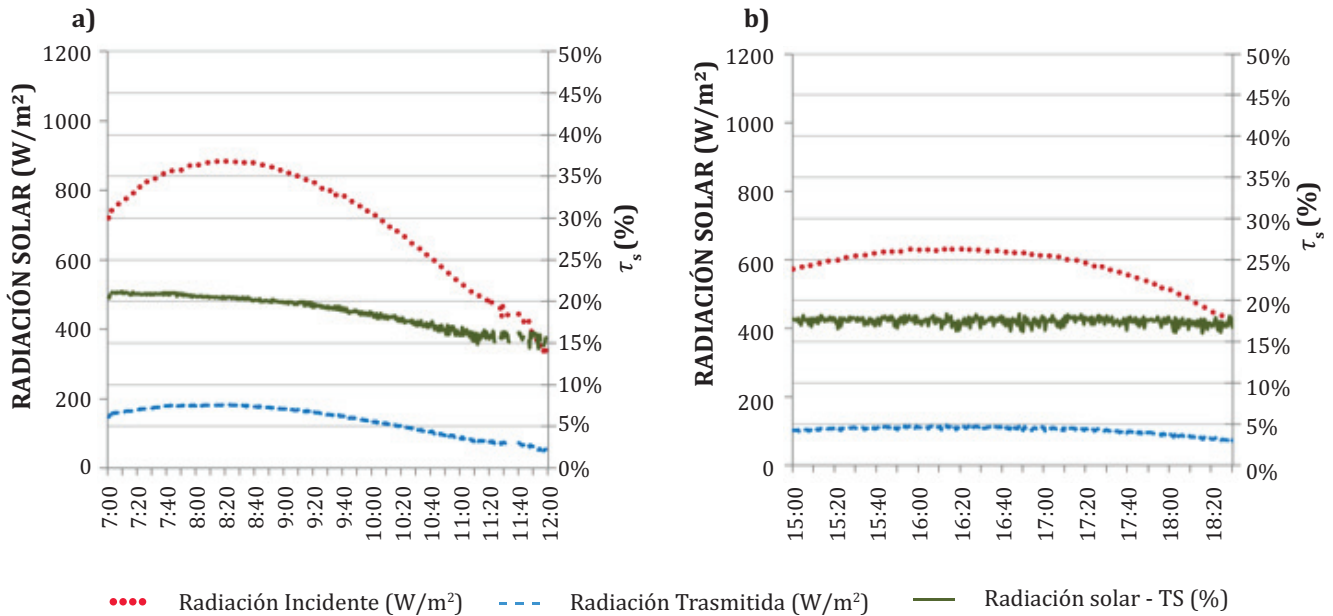
Debido a la trayectoria del sol, que presenta un comportamiento simétrico con eje en la hora del mediodía solar, se esperaba registrar un comportamiento simétrico en la radiación incidente y en la radiación medida al interior, en la posición vertical orientada al norte. Los datos obtenidos del piranómetro exterior muestran esta simetría en su curva, sin embargo, se encuentra desplazada del eje correspondiente al mediodía solar, lo que podría estar indicando que la ubicación del dispositivo de medición tiene una desviación con respecto al norte solar o que la posición de los instrumentos presenta una pequeña inclinación respecto a la protección solar; provocando que los datos obtenidos no reflejen esa simetría.

Para la PS1 en la orientación este, Figura 7(a), la transmisión solar es variable. Esta relación tiende a disminuir a medida que avanza la medición, variando entre 20.5% al inicio (7:00h, $H=12.0^\circ$, $Z=105.9^\circ$), y un 14.3% al finalizar (12:00h, $H=70.3^\circ$, $Z=42.8^\circ$). En la

orientación noroeste, Figura 7(b), con mediciones realizadas entre las 15:00h ($H=58.6^\circ$, $Z=296.3^\circ$) y las 18:30h ($H=16.2^\circ$, $Z=257.6^\circ$), 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, se constató que a medida que varía su posición relativa con respecto al sol, varía el porcentaje de radiación transmitida. El valor medido en condición normal a la radiación directa incidente (21.5%) se aproxima únicamente al registrado a las 7:00h en la orientación este, cuando el azimut relativo es menor a 20° , y representa el mayor valor de transmisión solar registrado para esta protección. Para el resto de las mediciones se registraron valores que presentan una diferencia respecto a la medición en posición normal de hasta un 7.2% menos (diferencia entre el valor representativo en posición normal de 21.5% y el valor mínimo en orientación este de 14.3%).

Figura 7. Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) en PS1 para plano vertical en diferentes orientaciones: (a) este; (b) noroeste



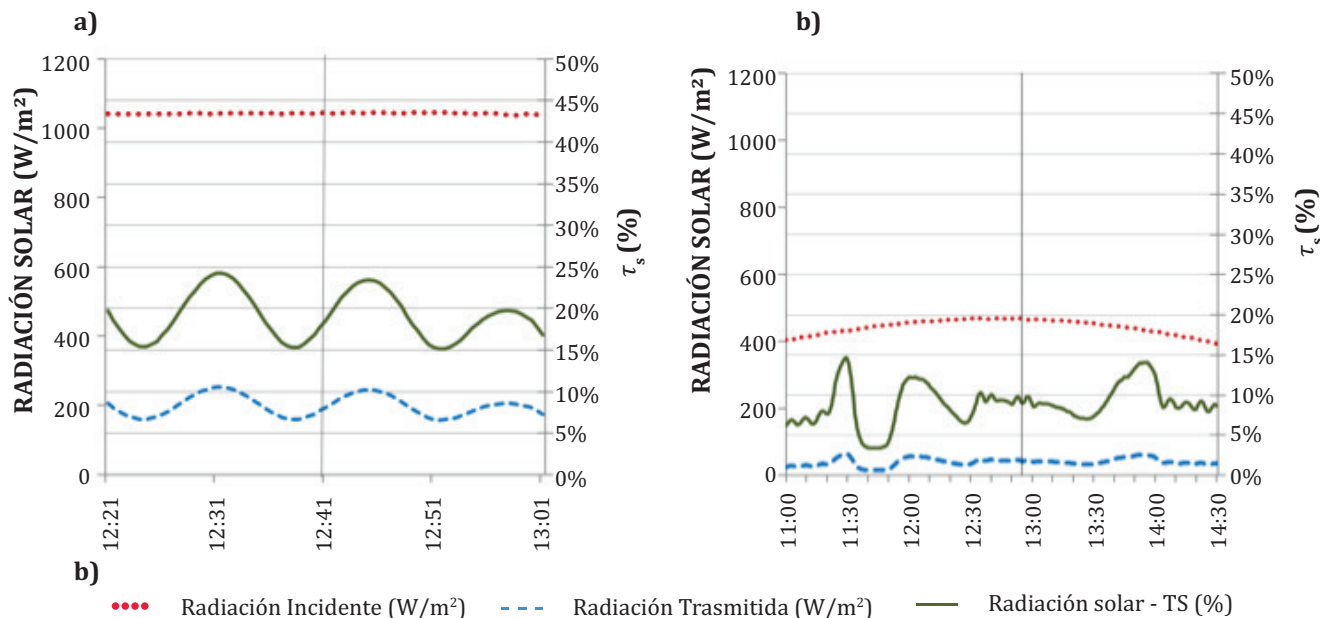
Fuente: Elaboración propia

Protección solar “chapa perforada trapezoidal” PS2

En la Figura 8(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%, 12:31 h) y un valle (15.3%, 12:38 h), aún con un movimiento relativo del sol muy acotado. Para la orientación norte, Figura 8(b), el porcentaje de radiación que pasa a través de la protección mantiene un comportamiento fluctuante, con valores máximos del 14.7% (11:29h, $H=60.4^\circ$, $Z=48.8^\circ$) y mínimos del 3.4%, 16 minutos después (11:45h, $H=62.7^\circ$, $Z=42.3^\circ$). La mediciones de las Figura 8(a) y 8(b) presentan el mismo azimut, variando la altura y la extensión del periodo de medición, sin embargo, se puede observar que los valores obtenidos para la posición vertical son inferior-

res a los obtenidos en posición normal. Al igual que en las figuras anteriores, la línea vertical corresponde al mediodía solar. La ausencia de un comportamiento simétrico en los resultados, respecto a esta hora, es posible atribuirla a la ubicación relativa del piranómetro interior en relación a la geometría de la protección; el cual quedó desplazado del eje de simetría del trapecio que conforma la chapa plegada. No obstante, se considera que los resultados obtenidos presentan una coherencia global en relación a lo esperado desde el punto de vista teórico.

Figura 8. Radiación solar incidente (W/m^2), transmitida (W/m^2) y transmisión solar (%) de PS2 para diferentes posiciones: (a) normal a la radiación solar directa incidente; (b) plano vertical-orientación norte-

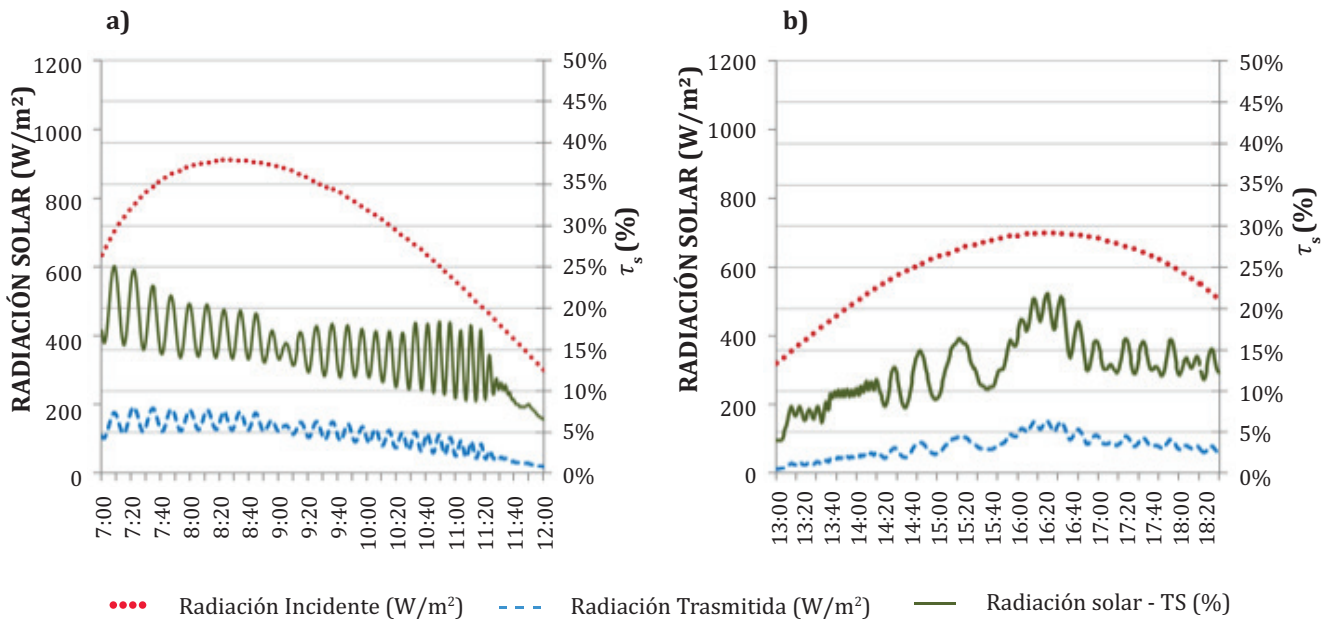


Fuente: Elaboración propia

La transmisión solar de la PS2 en orientación este se muestra en la Figura 9(a), más adelante. El mayor nivel, 25.0%, se registra al comienzo de la medición (7:05 h, $H=8.1^\circ$, $Z=98.7^\circ$), y el menor, 6,6%, a las 12:00 h, $H=63.2^\circ$, $Z=33.3^\circ$. A partir de las 11:20 h las fluctuaciones disminuyen, tendiendo a un comportamiento regular sin variaciones abruptas. 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 9(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% (16:20 h, $H=41.4^\circ$, $Z=279.4^\circ$), y la menor de 4.0% (13:07 h, $H=71.2^\circ$, $Z=353.7^\circ$).

Las protecciones ensayadas presentan una diferencia en su desempeño según la posición en que se orienten, lo cual revela la dificultad de utilizar un indicador único por dispositivo de protección solar.

Figura 9. 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

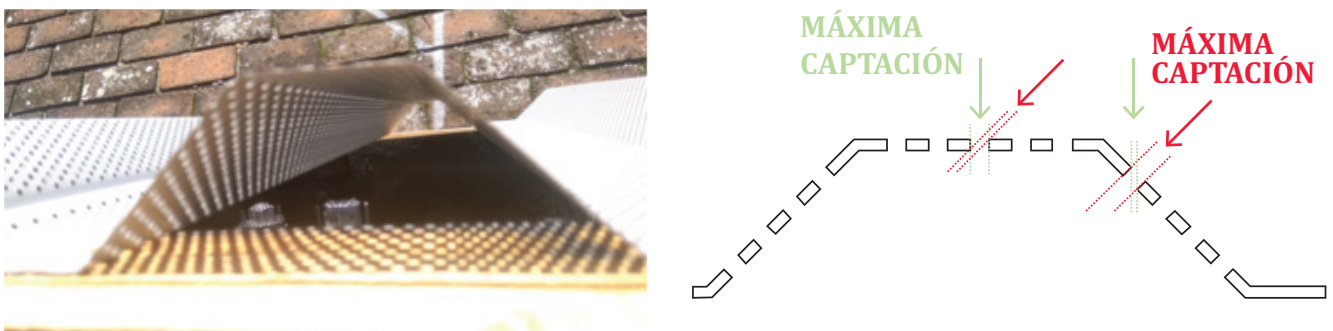


Fuente: Elaboración propia

Los resultados para la PS2, en todos los casos presentan un comportamiento fluctuante en magnitud y amplitud, lo cual permite constatar que las variaciones en la transmisión solar están condicionadas por su geometría.

El plegado trapezoidal de la chapa por su parte, genera un auto-sombreado, mientras que las perforaciones presentes en la misma permiten mayor o menor captación de radiación directa dependiendo del ángulo de incidencia, ver Figura 10(a) y (b).

Figura 10. Detalle de incidencia de radiación solar directa sobre protección "Chapa perforada trapezoidal" y presentación esquemática



Fuente: Elaboración propia

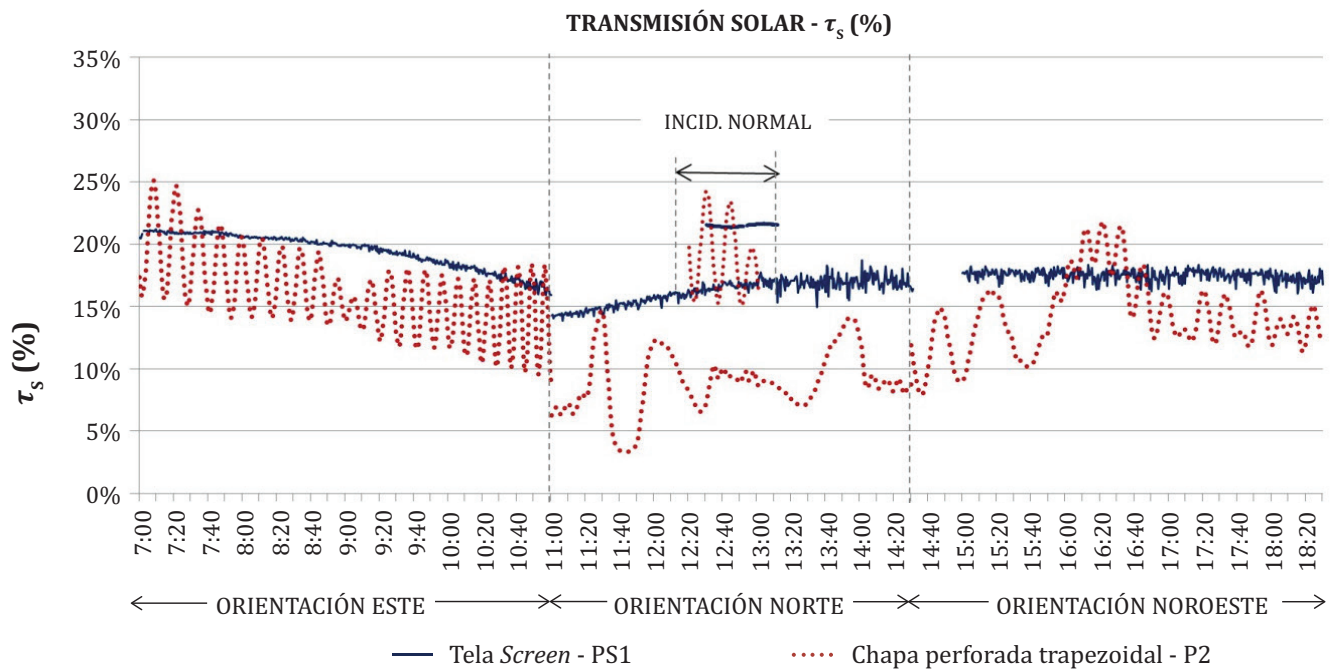
Análisis comparativo

En el resumen de resultados de transmisión solar presentado en la figura 11, 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.

Para ambas protecciones en posición vertical y según los períodos de medición considerados, los valores más altos de transmisión se constatan para una incidencia cuasi normal, en este caso se corresponde con la orientación este en las primeras horas de la mañana.

Figura 11. Transmisión solar (%) de PS1 y PS2 para todas las posiciones y orientaciones

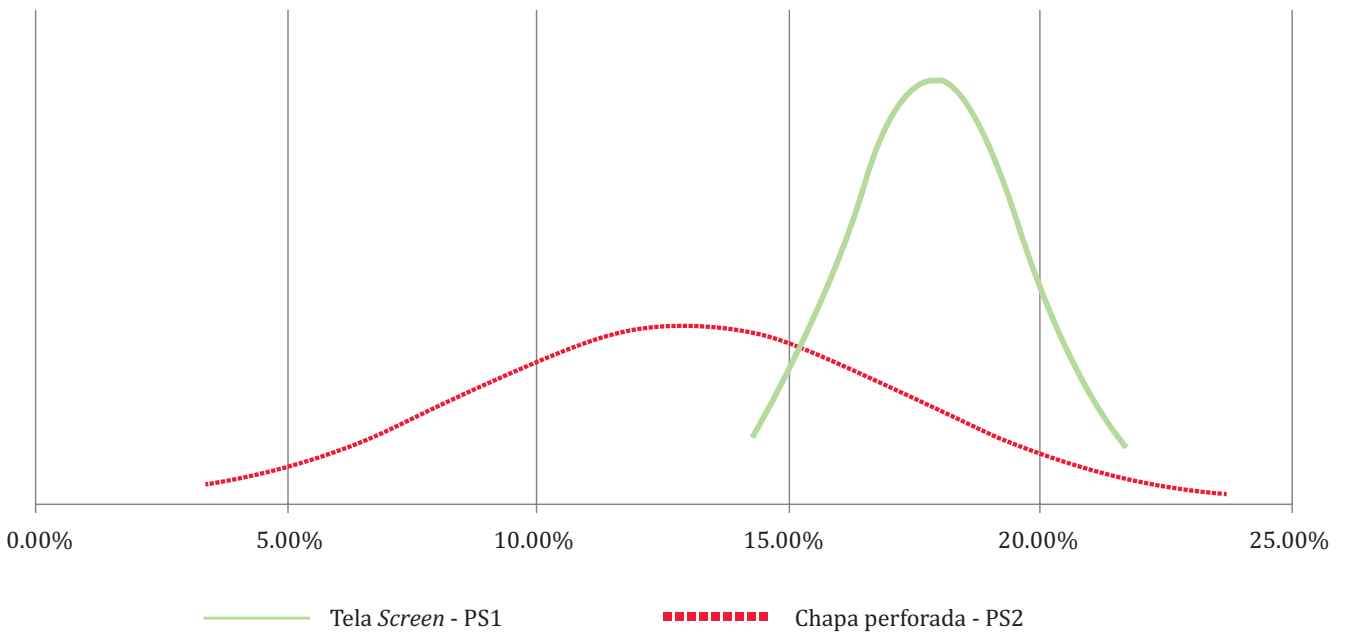


Fuente: Elaboración propia

Estos datos permiten afirmar que, aun protecciones de geometría homogénea -PS1- presentan 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. En la Figura 12, se puede observar la caracterización de los valores de transmisión solar para cada protección solar si consideramos los resultados de las medi-

ciones para todas las orientaciones. La PS1 presenta un rango de transmisión solar más acotado (14.0% a 21.0%), mientras que la PS2 presenta un rango más extenso (3.4% a 25.0%), ver Figura 12. De esto se desprende que, para todas las orientaciones y posiciones, el valor medio de transmitancia solar es más representativo para la PS1 que para la PS2, debido a que en la primera los resultados presentan una menor desviación respecto a la media.

Figura 12. Distribución normal de coeficientes de transmisión solar para las protecciones PS1 y PS2

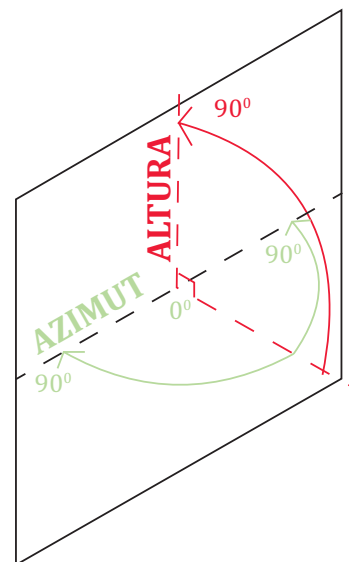


Fuente: Elaboración propia

Caracterización del desempeño de las protecciones

En una siguiente etapa, se independizaron los resultados obtenidos de la orientación en que se midieron. Cada ángulo de incidencia de radiación se expresó en relación a un mismo plano genérico, considerando la variación en altura entre 0° -perpendicular al plano- y 90° -rasante al plano- y la variación en azimut como la desviación respecto a la normal entre 0° y 90° hacia ambos lados, ver Figura 13. Como resultado se obtuvo para cada protección, la variación de la transmisión solar en función de ángulo de incidencia de la radiación. Los análisis realizados a continuación se plantean cómo estudios preliminares tendientes a la caracterización geométrica de la transmisión solar.

Figura 13. Lectura de ángulos de incidencia para el plano de medición

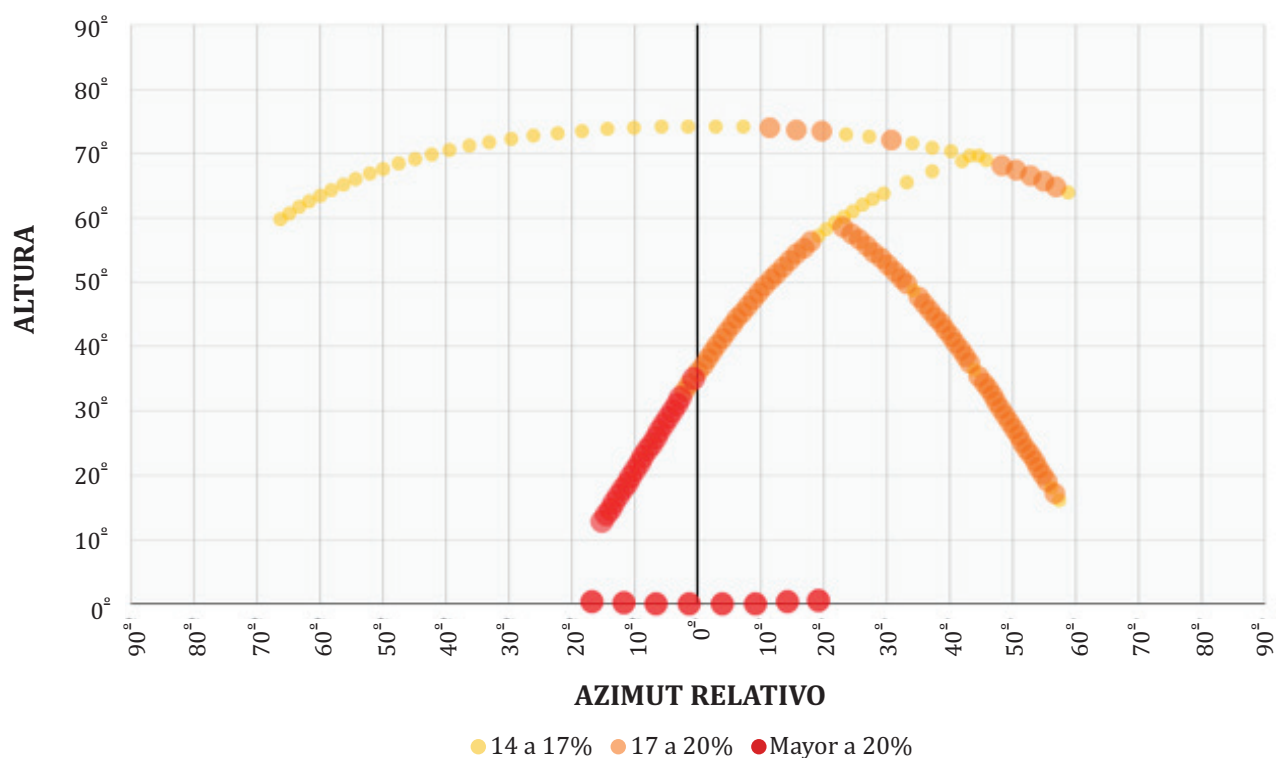


Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 presenta los resultados obtenidos para la PS1 donde se observa que en ángulos cercanos a la perpendicular, tanto en azimut como en altura, se presentan los mayores

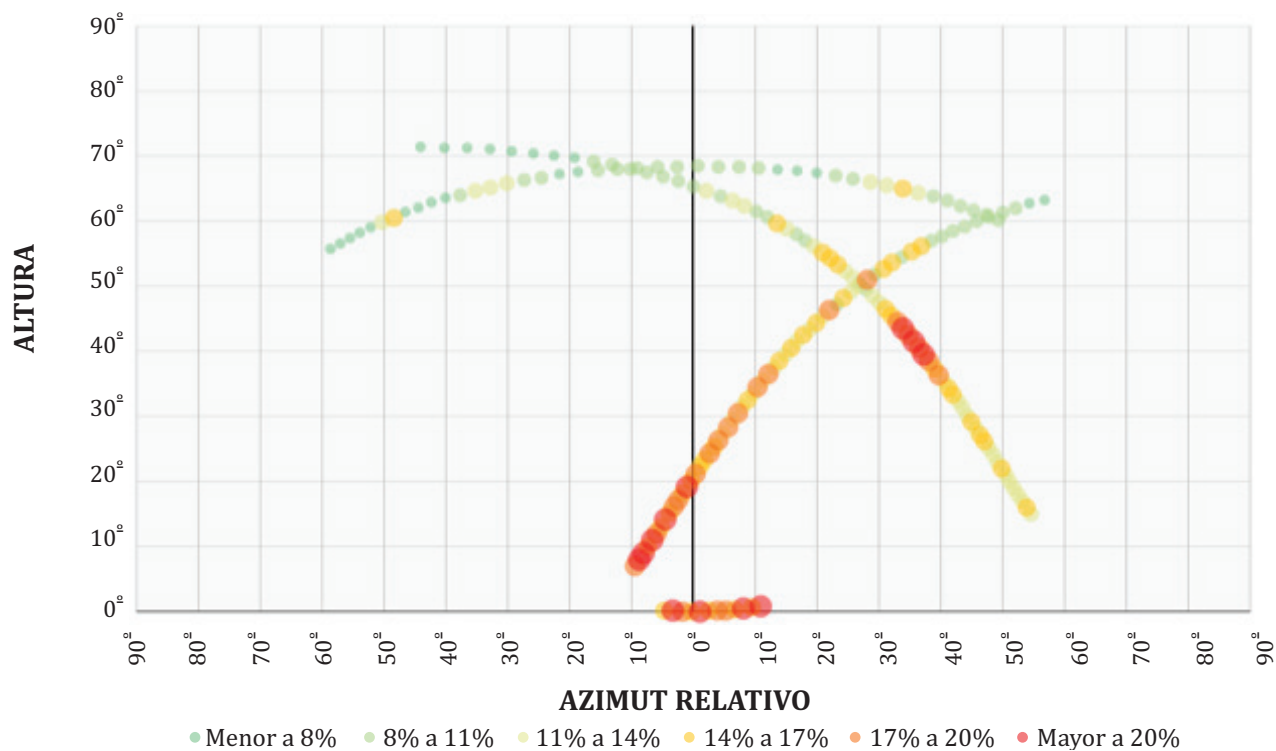
niveles de transmitancia (20% o más); así mismo los menores valores (entre 14% y 17%) se presentan únicamente a partir de los 55° de altura.

Figura 14. Transmisión solar (%) de PS1 en función de posición relativa del sol



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Transmisión solar (%) de PS2 en función de posición relativa del sol



Fuente: Elaboración propia

Para la PS2, Figura 15, es posible identificar sobre los 50.0° de altura un cambio en los rangos de transmitancia independiente del azimut. Mientras que, para alturas menores a 50.0° el rango oscila entre 14.0% y 20.0%, para alturas mayores la transmisión varía entre 3.4% y 17.0%.

A su vez, dentro de cada zona se identifica que los niveles más altos se presentan en diferentes ángulos de incidencia – altura y azimut relativo al plano de la protección -, lo cual tiene relación con el comportamiento presentado en la Figura 10.

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 variable según el ángulo de la radiación incidente, o sea, a su posición relativa al sol, y la geometría propia de la protección.

Los resultados obtenidos de forma experimental para la ciudad de Montevideo, demuestran que las protecciones ensayadas presentan una diferencia en su desempeño según la posición en que se orienten, lo cual revela la dificultad de utilizar un indicador único por dispositivo de protección solar. Considerando siempre su evaluación para el período de verano, ambas protecciones presentan un mejor desempeño, es decir menores niveles de transmisión solar, cuando se orientan hacia el norte.

Por otro lado, la evaluación comparativa de los resultados para ambas protecciones permitió identificar que el valor de transmisión solar en condición normal a la radiación incidente -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.

El estudio realizado permitió caracterizar el desempeño de las protecciones estudiadas para posibles orientaciones de fachadas de edificios en Montevideo, Uruguay. Adicionalmente, se presentó un análisis preliminar que permite caracterizar el desempeño de las protecciones solares para cualquier ubicación y orientación, a través del análisis realizado que expresa la transmisión solar en función del ángulo de radiación incidente. Para profundizar el estudio de las protecciones solares, es necesario un mayor número de mediciones frente a otros ángulos de incidencia de radiación para obtener una caracterización global por protección solar, así como para independizar esta variable de la incidencia de la geometría que la caracteriza. El desarrollo de esta metodología podría aportar un indicador más adecuado para la toma de decisiones en el diseño y evaluación de cerramientos transparentes.

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”.

•••

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

Alonso-Suárez, R., Abal, G., Siri, R., Muse, P. (2014). Satellite-derived solar irradiation map for Uruguay. *Energy Procedia* 57:1237-1246, 10.1016/j.egypro.2014.10.072.

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*, 50, 166-176. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.03.038.

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*, 6, 2786-2801. doi:10.3390/su6052786.

Cátedra de acondicionamiento térmico (2000) AT 01 (Material de curso). Universidad de la República, Facultad de Arquitectura. Montevideo, Uruguay.

Mainini, A., Poli, T., Zinzi, M., Speroni, A. (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.

Maraveas, C. (2019). Environmental Sustainability of Greenhouse Covering Materials. *Sustainability*, 11(21), 6129. doi.org/10.3390/su11216129.

National Fenestration Rating Council (2013). NFRC 200A-2014 *Procedure for Determining Fenestration Attachment Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence*.

Serra, R. y Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona. ISBN 84-7653-505-8.

Stazi, F., Marinelli, S., Di Perna, C., Munafaro, P. (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, 512-528. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.04.005>

ISSN 2602-8042 [Impresa]

ISSN 2631-2522 [Electrónica]

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

 **olade**

ORGANIZACIÓN
LATINOAMERICANA
DE ENERGÍA



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO

Av. Mariscal Antonio José de Sucre
N58-63 y Fernandez Salvador
Quito - Ecuador

Tel. (+593 2) 2598-122 / 2598-280
/ 2597-995

enerlac@olade.org

