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

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR

Área de Clima y Confort en Arquitectura / Instituto de Construcción Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo / Universidad de la República

INFORME FINAL Responsable: Alicia Picción

Equipo: María Noel López Magdalena Camacho Daniel Sosa Lucía Gutiérrez Lucía Pereira Diego Cedrés

Setiembre 2019

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

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

Índice

1. Antecedentes y fundamentación.	3
1.1 El vidrio en la arquitectura:	3
1.2 La eficiencia energética y el cambio climático:	3
1.3 Normativa existente en Uruguay:	4
1.4 Estado del arte:	5
1.4.1. Evaluaciones Lumínicas:	6
1.4.2. Evaluaciones Térmicas:	7
2. Descripción del problema de investigación estudiado.	9
3. Objetivos generales y específicos del proyecto	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivos Específicos	10
4. Preguntas que busca responder el proyecto.	10
5. Metodología utilizada.	10
5.1 Método Experimental	11
5.1.1 Selección de protecciones solares	10
5.1.2. Caracterización de las protecciones solares	12
5.1.3 Instrumentos de medición	14
5.1.4 Diseño del dispositivo de ensayo	16
5.1.5. Entorno de la caja	20
5.1.6. Condiciones de Ensayos	21
5.1.7. Procesamientos de datos experimentales	28
5.1.8 - Conclusiones	67
5.2 Método Analítico	68
5.2.1 Modelo Dialux 4.13	66
5.2.2 Modelo EnergyPlus	70
6.Referencias bibliográficas.	82
Anexo 1- Medición complementaria radiación de onda larga	86
Anexo 2- Configuración de instrumentos y adquisición de datos	87
Anexo 3- Protocolo de medición	94

1. Antecedentes y fundamentación.

1.1 El vidrio en la arquitectura:

El propósito tradicional de las ventanas es proporcionar luz, vista y ventilación a los ocupantes. Aunque con el avance de la tecnología hubo muchos intentos en utilizar la luz artificial y ventilación mecánica como sustitución, hoy en día es cada vez mayor el reconocimiento del rol del cerramiento transparente para proporcionar estos beneficios de una manera natural, contribuyendo a una mayor satisfacción, salud y productividad en los ocupantes del edificio Milbratz (2007). Para que un edificio pueda ser eficiente y proporcionar confort térmico y visual a sus ocupantes debe existir una correlación entre los materiales utilizados y los factores externos, es decir que las estrategias de diseño sean apropiadas al clima donde se aplique.

La tendencia de la arquitectura de las últimas décadas, promueve la utilización del vidrio y la transparencia como lenguaje expresivo. Existe una fascinación por la luz y la ligereza en el diseño, que responde en muchos aspectos a los avances tecnológicos recientes, determinando muchas veces extensas áreas vidriadas en la envolvente de los edificios. No obstante, los edificios deben brindar condiciones de confort térmico y visual asociado al menor consumo de energía posible. Además estas áreas vidriadas facilitan la contaminación acústica que se podría introducir en los edificios, provocando una situación de disconfort adicional a los usuarios. Alcanzar niveles de confort sólo puede lograrse si la envolvente está cuidadosamente diseñada para así ofrecer una protección eficaz a los intercambios de energía, como por ejemplo las ganancias y pérdidas de calor que determina la utilización de este material transparente y la incidencia de luz directa de alta intensidad.

Las ventanas pueden representar la principal fuente de ganancia de calor en verano y pérdida de calor significativa en invierno. El vidrio es un factor muy importante a tener en cuenta en la toma de decisiones para mejorar la eficiencia energética de los locales, el mismo presenta un comportamiento muy especial, siendo transparente a la radiación de onda corta (luz y calor emitidos por el sol) y opaco a la radiación de onda larga (luz y calor emitidos por la mayoría de los cuerpos). Debido a esta propiedad, se puede producir el efecto invernadero, (Signor, 1999). En el período frío la temperatura exterior usualmente es menor que la temperatura interior, dado que la conducción del calor a través del vidrio es muy eficiente, la temperatura en la superficie exterior del vidrio disminuye y por lo tanto aumenta la pérdida de calor por la ventana, siendo muy importante la relación entre el porcentaje de huecos y la envolvente expuesta a la hora de estudiar las pérdidas térmicas (Picción et al, 2008).

1.2 La eficiencia energética y el cambio climático:

En el sudeste de América (que incluye al territorio uruguayo), la evolución de la temperatura media anual en el periodo 1901 al 1995 muestra una tendencia creciente sobre el período completo, configurando un crecimiento de las temperaturas medias anuales de aproximadamente 0.3°C en el sur del Uruguay, durante el último siglo. En los últimos 50 años hubo una tendencia a una menor ocurrencia en el número de noches frías y un aumento del número de noches cálidas sobre todo durante el verano. También hubo una disminución de los valores alcanzados por las temperaturas máximas anuales y un aumento en las temperaturas mínimas absolutas, evidenciando un enfriamiento de la época cálida del año junto con un calentamiento en la época fría (Rusticucci y Renom,2008).

Las ganancias solares pueden tener un enorme impacto en diversos aspectos tales como el confort de los ocupantes y la construcción de la demanda de energía, por tanto inciden aumentando las emisiones de CO2, los costos de inversión de los sistemas HVAC y los costes adicionales. Según Simmler y Binder (2008) en los últimos 10-15 años, han aumentado las demandas de energía para calentamiento y enfriamiento, así como los problemas de confort térmico. Para optimizar el desempeño térmico y prevenir el sobrecalentamiento en el interior de los locales es fundamental conocer las propiedades térmicas y lumínicas de los componentes de los cerramientos transparentes, entendiendo cerramiento transparente al conjunto conformado por: marco, vidrio y protección solar. Por este motivo es primordial la correcta utilización de estrategias de diseño para el período caluroso. Es central el control

de las ganancias de energía por radiación, por lo que se considera fundamental el estudio del desempeño de los cerramientos transparentes como aporte técnico para la correcta evaluación en su aplicación al diseño del edificio.

El calentamiento global pondrá a las ciudades y a las construcciones en riesgo (MVOTMA, 2010). El cambio climático se prevé que conducirá a una ligera disminución en la emisión anual de carbono, al pasar el tiempo, reflejado en el menor consumo de energía, con una incertidumbre relativamente estable en las predicciones. Con la trayectoria actual del cambio climático estamos entrando en una era de creciente vulnerabilidad urbana; a partir de esta situación, se observa un incremento ascendente en el consumo de energía para refrigeración en comparación con el consumo de energía utilizado para calefacción, que es coherente con el aumento de las temperaturas exteriores previstas (López, 2012). Por ello es fundamental estudiar el diseño de los cerramientos transparentes y las protecciones solares asociadas como instrumentos de control de la energía (térmica y lumínica). Como el período frío en Montevideo es el que presenta mayor rigor climático, el aumento de temperatura puede impulsar una reducción de las emisiones de carbono y un menor consumo asociado en el sector residencial, si se la utiliza a favor.

1.3 Normativa existente en Uruquay:

Tal como se expresa en el Programa de Normalización y Etiquetado en Eficiencia Energética propuesto dentro del Plan Nacional de Eficiencia Energética por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM, 2015) "El Sector Residencial, junto con el Sector Comercial y Servicios, representan un 28% del consumo total del país. Los edificios son de muy larga vida útil, lo que hace que las consecuencias de las decisiones que se toman en el momento de la construcción, perduren durante muchos años (80 años o más). Estos dos aspectos convierten a los edificios en objeto de reducción de demanda de energía, fundamentalmente en lo que hace al mantenimiento de condiciones de confort térmico y lumínico con bajo consumo de energía." Es de interés para el Ministerio que "al igual que para el equipamiento, las edificaciones pueden contar con un etiquetado de EE (eficiencia energética) que sirva como referencia para los consumidores al momento de tomar las decisiones de compra o alquiler de los inmuebles. Esta etiqueta aporta los consumos de calefacción y refrigeración estimados en el uso de la vivienda".

Desde el área de investigación de la UdelaR se puede aportar a la generación y sistematización de la información disponible, brindando una metodología de evaluación de productos, que facilite su posterior categorización y etiquetado.

Dentro de la normativa existente que establece el digesto departamental, referente a la demanda de energía para el acondicionamiento térmico, se encuentra el Artículo R.1652.9 (Intendencia de Montevideo, 2009) que indica que los cerramientos vidriados exteriores deben ajustarse a las siguientes condiciones: para Fh (factor de huecos) de hasta 25%, corresponde a un vidrio simple para todas las orientaciones y la protección solar es opcional. En cambio para factor de hueco entre 25% y 60%, si la orientación preponderante es sur, la transmitancia de hueco máxima admisible es 2.8 W/m2k , corresponde a doble vidriado hermético. Asimismo para Fh entre 25% y 60%, corresponde protección solar en todas las orientaciones excepto la sur, quedando a criterio del proyectista. El límite máximo de huecos por fachada es de 60% . Se admitirá un Fh mayor a 60% solo en dos fachadas, si la transmitancia del hueco (Uh) es menor a 2.8 W/m2.K, cumpliendo siempre con la protección solar exigida y debiendo ser aprobado por la oficina departamental competente.

Según DINAVI-MVOTMA (2011) los estándares de desempeño para la vivienda deben cumplir con los siguientes requisitos:

 Para cerramientos vidriados, los niveles de desempeño toman como normativa de referencia la que corresponde al Digesto Municipal de Montevideo si es que se encuentran en este departamento. Exigiendo sólo a nivel de requerimientos de energía solar que las viviendas deberán recibir sol directo durante una hora como mínimo durante todo el período de invierno, en por lo menos uno de los siguientes ambientes: dormitorio, estar o comedor. Se admitirá una tolerancia de media hora en menos del asoleamiento mínimo requerido en un número no mayor al 10% de las unidades.

Para evaluar el desempeño de los cerramientos vidriados básicamente existen dos indicadores que se relacionan con el manejo de la energía en lo que refiere al calor: U y factor solar. El factor solar (Fs), también llamado coeficiente de ganancia solar por sus siglas en inglés (SHGC) se encuentra entre las principales indicadores de eficiencia energética en cerramientos vidriados.

El factor solar es la fracción de irradiancia incidente que entra por una ventana, e incluye tanto la energía directamente recibida, como la transmitida, la parte absorbida y la reemitida.

El factor solar se expresa como un coeficiente entre 0 y 1. Este valor puede especificarse solo para el vidrio o puede ser referido a todo el conjunto de la ventana (cerramiento transparente). El menor factor Solar será el que menos energía térmica solar transmite, es decir que tiene un elevado nivel de sombreado.

Hanam, et Al (2014) plantean que dependiendo de la normativa bajo la cual se realice la evaluación se obtendrán diferentes valores de transmitancia térmica (U) y SHGC.

Además indican que se utilizan diferentes condiciones de temperatura exterior, interior, radiación solar (niveles de radiación incidente), coeficiente pelicular (NFRC coeficiente solo de convección, ISO y PHI convección + radiación.

1.4 Estado del arte:

Las exploraciones orientadas hacia el estudio de la transmitancia térmica y las pérdidas del vano cuentan con un gran número de investigaciones validadas, pero la situación respecto al estudio del control de las ganancias solares es distinta. Kirimtat et Al. (2016) recopilan varios estudios que se enfocan en el análisis del desempeño de las protecciones solares y expone que los países donde más se realizan estudios son USA e Italia; le siguen Canadá, Corea y China en segundo lugar, en un rango de 25 países, es decir que el hemisferio sur carece de estudios sistemáticos en cantidad, lo que representa un vacío de información para los climas de esta región, y en particular para el templado húmedo, (cfa según clasificación de Köppen), como es el caso de Uruguay.

Sobre las formas en que se estudian estos fenómenos Kirimtat et Al. (2016) discriminaron entre las investigaciones teóricas (simulación por software y cálculos) y/o las experimentales (con modelos a escala e instrumentos de medición); de una amplia revisión bibliográfica llegó a que el 54% de las investigaciones han sido realizadas en base a estudios teóricos, el 20% experimental, y el resto conjuntamente teórico-experimental. Menciona que con el aumento de la popularidad de "emisión energética cero" del edificio, la difusión de herramientas de simulación se extenderá sobre todo en las primeras etapas de diseño. Para la simulación, el software más utilizado es el <u>Energy-plus</u>, le sigue <u>Radiance y Doe-2</u> en tercer lugar. En cuanto a los espacios analizados donde se colocan protecciones, las oficinas ocupan el 52% de los casos de estudio y el resto se divide entre programas residenciales, educativos, locales de ensayo y comerciales, entre otros. Los dispositivos de protección solar estudiados con mayor frecuencia son, en orden: las venecianas, los parasoles fijos externo, y los aleros.

Dentro de América Latina, en Brasil desde los años 80 se está desarrollando el tema por parte de varios investigadores, como Pereira (1993) quién desarrolló un calorímetro para evaluar las ganancias solares en protecciones solares. En los últimos tiempos Marinoski et al. (2005) realizaron calibraciones y pruebas con los sensores utilizados en el mismo equipo que fue desarrollado por Pereira, mejorando el sistema original de enfriamiento al aire, modificando así los valores iniciales de factor solar. Por otro lado Dutra et al. (1994), presentan un método desarrollado para determinar el llamado *factor de ganancia térmica deseable (o factor solar deseable) de cerramientos vidriados*, que se calcula como una proporción de la radiación solar incidente que se puede transmitir al interior del ambiente. El resultado del análisis muestra la necesidad de mayor o menor sombreado de la apertura, en función de la necesidad de calefacción o enfriamiento del medio ambiente, para que sean alcanzados determinados

niveles de confort. Este cálculo toma en cuenta: la ganancia de calor debido a la radiación solar a través de la fachada, incluyendo el área de vidrios y paredes, también la diferencia de temperatura interna y externa y las ganancias de calor internos de la edificación. La ganancia de calor real se compara con la ganancia deseable que permite estimar el factor de ganancia requerido para la ventana. Otra línea de investigación desarrollada es la estimación del factor solar y la ganancia de calor de elementos transparentes a partir de propiedades ópticas de los materiales transparentes; Santos (2001) analiza el uso del factor de ganancia de calor solar (W/m2) y del coeficiente de sombreado para el cálculo simplificado de carga térmica a través de vidrios reflexivos. Este último mide transmisión, reflexión y el cálculo de factor solar en ángulos variados para siete vidrios reflectivos.

A pesar de esto varios autores exponen el vacío de información científica asociada al estudio de protecciones solares; David et al. (2011) mencionan que el impacto de la protección solar y la iluminación natural asociada es muy poco estudiada; Athienitis et al. (2002) y Kuhn (2006) lo sintetizan de esta manera:

- El principal obstáculo es la complejidad científica académica que existe al estudiar el tema, dificultando la posibilidad de crear un método de evaluación que sea capaz de demostrar las ventajas de los nuevos productos de manera convincente, dificultando el desarrollo y promoción de nuevos productos desde el punto de vista de su desempeño.
- Otro obstáculo es el límite que representa la simplificación de la información de los programas de simulación de comportamiento térmico (por ejemplo ESP-r, TRNSYS, TAS, DOE-2, etc.) ya que evalúan por ejemplo, la dependencia a la transmitancia de energía solar total y la transferencia de calor por convección de una manera muy simplificada. Solicitan información esquemática que deja fuera muchas características que inciden en el comportamiento del cerramiento, como por ejemplo los ángulos de inclinación variables de las lamas de venecianas o persianas verticales, que no son tomados en cuenta.

Según Stazi et al. (2014) los datos experimentales de evaluación de dispositivos de protección pueden ser útiles para la calibración de modelos numéricos, los cuales son extremadamente complejos dada la considerable variabilidad en su desempeño causada por la no linealidad de los procesos involucrados. Wienold et al. (2011) concluyen que a partir de la información obtenida mediante métodos de evaluación experimental se necesita mucho estudio y conocimiento para llegar a los modelos de cálculo, y además existe una dificultad de interpretación de dichas herramientas para el uso profesional siendo accesible solamente para investigadores, pero según él, es el único camino para realizar una comparación real entre los diferentes tipos de protecciones solares. Bellia et al. (2014) sostienen que los procedimientos de análisis y los métodos de cálculo sobre el desempeño de los cerramientos no están estandarizados y son de difícil aplicación a casos particulares si no se propone una metodología, con una base para una categorización simple.

Estudiar el desempeño de las protecciones con un enfoque holístico, teniendo en cuenta los factores de confort tanto térmicos como lumínicos, demuestra ser muy complejo, dando como resultado estudios que se focalizan solo en uno de dichos aspectos, obteniendo resultados parciales, distanciados de una visión integral que represente la situación real. En general los resultados de las investigaciones están orientados según las siguientes evaluaciones:

1.4.1. Evaluaciones Lumínicas:

- Iluminación natural
- Aspectos de confort visual (deslumbramiento y contacto visual) Wienold et al. (2011)

A su vez dentro de estos puntos de evaluación, se reconocen algunas carencias, Manzan et al. (2009) concluyen que se deben tener en cuenta otros parámetros, como por ejemplo los índices de disconfort. Además Wienold et al. (2011) sostienen que el confort visual (deslumbramiento y contacto visual) está influenciado principalmente por la estrategia de control de las persianas, por lo que se necesita un mejor método de evaluación visual.

Hay una vertiente nueva de desarrollo científico, que indica que se necesita un análisis avanzado para evaluar los cerramientos vidriados, que no es suficiente solo con conocer la transmitancia térmica U y el factor solar Appelfield (2012).

En Mainini et Al (2014) evalúa chapas metálicas de distintas perforaciones y muestra su eficacia como dispositivos de sombreado, pero que está eficiencia depende de: su geometría, textura, aplicación y del factor de apertura de la chapa perforada y estampada, o el factor de apertura de la malla metálica y el metal. En este estudio muestra que solo la apertura de la chapa metálica no es un parámetro adecuado para definir sus rendimientos como sistemas de protección solar. Los resultados en la medición de la luz angular y de la transmitancia solar se ven fuertemente afectados por la geometría y la relación entre la dimensión estándar de apertura y el espesor del panel. Pero agrega que para analizar el comportamiento del cerramiento transparente, se debe conocer la orientación solar de la fachada, así como la posición del sistema de sombreado, para una malla metálica genérica no tiene una gran variabilidad de resultados para el Este o el Oeste, pero en la orientación Sur (Norte para nuestra latitud), la transmitancia solar varía sustancialmente. También la reflectancia del recubrimiento de chapa modifica los resultados, que muestran que durante los meses de verano la reflectancia es más fuerte que en el invierno. La latitud es otro factor que mostró que influye en los resultados.

Santos et Al (2003) determinan que en un vidrio común la absorción a la radiación es reducida y varía poco en función del ángulo de incidencia, por lo tanto en ese material la variación está dado por la reflectancia.

1.4.2 Térmicas:

En lo que refiere al diseño de las protecciones, el desempeño energético de las mismas fue estudiado en varias oportunidades tomando en consideración solamente algunos de los aspectos anteriormente mencionados. Stazi et al. (2014) sostienen que las principales diferencias en el comportamiento físico-térmico de las protecciones se deben generalmente a su geometría (inclinación, ancho y separación entre lamas), materialidad (calor específico y conductividad) así como a su colocación (interior y exterior). Por lo que es de importancia destacar que dichos factores son clave para el estudio y en general determinan el punto de partida de elección de las protecciones a ser estudiadas, los autores categorizan las protecciones según las siguientes tipologías:

- venecianas (Simmler y Blinder 2008 en Zúrich, Suiza; Bellia et al. 2013 en varias ciudades de Italia; Wienold et al. 2011 en Roma y en Frankfurt; Athienitis et al. 2002 donde propone una metodología de análisis para este tipo de protección).
- **aleros** (Bellia et al. 2013, en varias ciudades de Italia).
- paneles (malla perforada y chapa desplegada) (Stazi et al. 2014, en Ancona Italia, Kim et al. 2010, Seoul, Korea).
- rollers ([35] Wienold et al. 2011, en Frankfurt y Roma).
- **persianas** ([36] Stazi et al. 2014, en Ancona Italia).

David et al. (2011), en un estudio de evaluación integral de protecciones, realizados en el hemisferio sur (Isla Reunión) proponen una serie de índices que pueden derivar de los resultados de la simulación numérica (Energy plus), para que un profesional pueda evaluar la calidad de las protecciones solares desde el punto de vista térmico y lumínico, dichos índices son:

- 1. Coeficiente de protección solar. Garde, 2005, citado en David et al. (2011).
- 2. Demanda eléctrica de refrigeración.
- **3.** Autonomía de la luz natural.
- **4.** Evaluación de la iluminación en el plano de trabajo.
- **5.** Índice de la modificación de la luz natural. Mardaljevic and Nabil, 2005, citado en David et al. (2011).

A la vez se debe tener en cuenta el tipo de clima en el que será aplicada la protección tanto como la orientación de la fachada en la que se va a colocar.

Maini et Al (2013) ensayan en laboratorio protecciones metálicas de tipo, lámina de metal perforada, chapa de metal desplegado y malla metálica. En ella concluyen que el factor de apertura (dimensión del hueco) de la chapa perforada y desplegada, la malla metálica y lámina de metal y del tejido no es un parámetro adecuado para definir sus rendimientos como sistemas de protección solar. Los resultados en la medición de la luz angular y de la transmitancia solar se ven fuertemente afectados por la geometría y la relación entre la dimensión estándar de apertura y el espesor del panel. una evaluación adicional, de acuerdo con la orientación y la posición predicha del sol, se debe hacer para determinar la posición (rotación en el plano de la fachada) del sistema de sombreado, para maximizar la luz directa y la reducción de la transmitancia solar, también considerando solicitudes de luz natural ya que modifica los resultados.

1.4.3 Normativa de cerramientos vidriados internacional:

Por otro lado también se relevó la normativa que se aplica en el tema:

DIN EN 410: Vidrio en el edificio. Determinación de las características lumínicas y térmicas del acristalamiento

ISO 9050 (2003) (Inglés): El vidrio en la construcción. Determinación de la luz, transmitancia, transmitancia solar directa, transmitancia de energía solar total, transmitancia ultravioleta, factores de acristalamiento

ISO 15099: 2010 Desempeño térmico de ventanas, puertas y dispositivos de protección: detallando los cálculos. Procedimientos detallados de cálculo para la determinación de la energía térmica y lumínica propiedades de transmisión (por ejemplo, transmitancia térmica, transmitancia total de energía solar) de sistemas de puertas y ventanas basados en los algoritmos y métodos más actualizados, y las propiedades relevantes solares y térmicas de todos los componentes.

ISO 8272: 1985: Doorsets - Prueba de permeabilidad al aire

UNIT-ISO 10077-1: 2017: Desempeño térmico de ventanas, puertas y protecciones exteriores - Cálculo de la transmitancia térmica - Parte 1: Generalidades.

UNIT-ISO 10077-2: 2017: Desempeño térmico de ventanas, puertas y protecciones exteriores - Cálculo de la transmitancia térmica - Parte 2: Método numérico para los marcos.

ISO 12567-1: 2010: Rendimiento térmico de ventanas y puertas. Determinación de térmicas. transmisión por el método de caja caliente - Parte 1: Ventanas y puertas completas

ISO 12567-2: 2005: Desempeño térmico de ventanas y puertas. Determinación de pérdidas térmicas. Transmisión mediante el método de caja caliente. Parte 2: Ventanas en el techo y otras proyecciones.

ANSI/NFRC 200-2014: Determinación del SHG para las condiciones climática de Inglaterra.

Hanam et Al. (2014) indican que dependiendo de la normativa bajo la cual se realice la evaluación se obtendrían diferentes valores de U (transmitancia térmica) y SHG (factor solar).

En Argentina, De Gastines y Pattini (2017) determinan los valores de factor solar de casos de cerramientos vidriados que se compran en el mercado argentino bajo tres métodos diferentes NFRC 200, ISO 15099 y EN 410. El factor solar (FS), o coeficiente de ganancia de calor solar, se obtiene dividiendo la ganancia solar por la energía solar incidente sobre el área proyectada de la ventana.

Aunque el factor solar dependa del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el plano de la ventana, el índice que se usa comúnmente para clasificar y comparar productos entre sí es el factor solar a incidencia normal. Las normas ISO 15099 (ISO, 2003) y NFRC 200 (NFRC, 2010b) calculan el factor solar como promedio ponderado del factor solar del vidrio y del factor solar del marco. Sin embargo, el índice comúnmente utilizado por los productores de ventanas es el factor solar del vidriado.

Recomendaciones de Gastines y Pattini

En el caso de las ventanas, un panorama general de las opciones de modelado asociadas a la superficie vidriada en EnergyPlus está dado por Winkelmann (2001). Se distinguen dos posibilidades de modelización de los vidriados, uno usa los datos espectrales completos (Full SpectralModel) y el otro los datos espectrales promediados para cada capa vidriada (SpectralAverageModel). Arasteh et al. (2009) desarrollaron luego un modelo simplificado llamado Simple WindowModel, el cual permite simular los impactos energéticos de las ventanas a partir de los índices térmicos de las mismas (Factor K, Factor solar, Transmitancia visible). El impacto de los inputs relacionados con la parte vidriada de las ventanas fue analizado por Lyons et al. (2010), quienes compararon los tres modelos anteriormente nombrados: el Simple WindowModel propuesto por Arasteh et al. versus la modelización más explícita de la ventana (Full SpectralModel y SpectralAverageModel). Si bien el modelo simplificado no es tan preciso como el Full SpectralModel, demuestra dar mejores resultados que el SpectralAverageModel. Los autores observan que en el caso del simple vidriado el modelo simplificado predice un 6% más de cargas térmicas aproximadamente que el Full SpectralModel. En el caso del DVH, predice entre un 8% menos y un 2% más cargas aproximadamente. Por lo tanto se puede decir que para el uso de SV y DVH clearfloat, el modelo simplificado constituye una aproximación válida en cuanto al vidriado. Sin embargo, Lam et al. (2014) realizaron la comparación de 6 modelizaciones distintas del vidriado (las 3 anteriores, el método que utiliza datos generados por el programa WINDOW, el método BSDF - BidirectionalScatteringDistributionFunctionsMethod - y el método REM - RefractionExtinctionMethod) aplicadas a 15 vidriados (sin marco) y llegaron a conclusiones contrarias. Observan que el método SpectralAverageModel da resultados muy parecidos al Full SpectralModel (recomendado por EnergyPlus), mientras que el método Simple WindowModel tiende a sobreestimar las cargas de refrigeración.

2. Descripción del problema de investigación estudiado.

En el comienzo de la investigación el problema se encontraba en determinar criterios de diseño que logren mantener adecuados niveles de confort, térmico y lumínico, que puedan ser aplicados por los profesionales, arquitectos, ingenieros, constructores, diseñadores, etc. Dada la complejidad de un estudio holístico, y la no estandarización de un método de evaluación estos factores no son habitualmente considerados en su conjunto. Además de no vincularse con otros aspectos tales como lo económico, aspectos estéticos de la fachada y de impacto ambiental, entre otros.

Es fundamental entonces estudiar el diseño de los **cerramientos transparentes** como instrumentos de control de la energía (térmica y lumínica). Entendiendo como cerramiento transparente al conjunto conformado por: marco, vidrio y protección solar.

Evaluar los cerramientos transparentes **de forma integral**, es un vacío que se encontró luego de analizar el estado del arte del tema.

Aún no se había desarrollado una herramienta de selección de protecciones para ningún tipo de clima, que sea accesible y sencilla para el uso tanto de los profesionales como a nivel de la enseñanza. Según referentes del tema, existía la necesidad de encontrar un método sencillo capaz de estimar el desempeño de los nuevos productos de manera convincente.

Dada la cantidad reducida de investigaciones aplicadas al hemisferio sur, (como ya expusieron, Kirimta et Al. (2016) y la carencia de estudios sistemáticos en cantidad que se asemejen al clima templado húmedo característico de nuestro país, se considera relevante generar insumos para el correcto diseño y evaluación de cerramientos transparentes. Por lo que esta investigación aporta datos en este sentido. En el proceso de la investigación, se encontró que la mayor dificultad está dada por lo experimental y en registro adecuado de datos.

3. Objetivos generales y específicos del proyecto

3.1 Objetivo General

Estudiar distintas tipologías de cerramientos transparentes, conformados por marco, vidrio y protección solar, a través de metodologías que permitan evaluar el comportamiento térmico y lumínico del conjunto y de sus componentes, a partir del impacto sobre el confort térmico, el confort visual y el ahorro de energía (en calefacción, refrigeración e iluminación artificial), en un clima templado.

3.2 Objetivos Específicos

- 1. Proporcionar información sobre determinadas tipologías de dispositivos de cerramientos transparentes a partir de mediciones de propiedades ópticas y térmicas.
- 2. Evaluar distintas tipologías de cerramientos transparentes a través del análisis de su desempeño utilizando la simulación computacional.
- 3. Verificar y ajustar un método existente de evaluación de la efectividad de una protección solar que sirva como herramienta sencilla de apoyo en las etapas de diseño arquitectónico.
- 4. Elaborar una guía de apoyo al diseño en aspectos lumínicos y térmicos estableciendo una base de datos de cerramientos transparentes, una categorización simple que tomará en consideración: clima, tipo de protección, las características de los materiales y el diseño del dispositivo.

4. Preguntas que busca responder el proyecto.

- ¿Se puede mejorar el alcance de las herramientas de evaluación para diseñar y seleccionar un cerramiento transparente?
- ¿Cómo influyen los parámetros de diseño del cerramiento transparente desde el punto de vista del desempeño energético?
- ¿Cómo podemos facilitar la interpretación y aplicación de los criterios para una adecuada selección de cerramientos transparentes?
- ¿Cuál es el alcance del método de Factor solar máximo admisible teniendo en cuenta distintos programas arquitectónicos, sistemas constructivos y características climáticas?

5. Metodología utilizada.

La investigación utilizó dos técnicas metodológicas:

- Experimental
- Analítica

Con ello se construyó una estrategia de investigación integral para afrontar el estudio del problema.

5.1 Experimental

El método experimental tiene el objetivo de recabar información del comportamiento de las protecciones solares en relación a la radiación solar térmica y lumínica incidente, evaluándose tanto en la posición normal a la radiación incidente (ensayo por norma en laboratorios) como en posición vertical, posición que respondan al uso de protecciones en fachadas.

El método de evaluación experimental, tendrá dos componentes:

Componente 1 - registro de mediciones en protecciones: mediciones de propiedades termo físicas y ópticas de las protecciones solares.

Componente 2 - Tratamiento estadístico de los datos.

5.1.1 Selección de protecciones solares

La bibliografía consultada plantea que **la geometría de las protecciones** es un factor clave para el estudio de las mismas, se utilizará entonces una clasificación de las protecciones solares elaborada por Bellia et al. (2014) donde discriminan según movimiento (fijas, móviles, manual o automático, y otros) y ubicación respecto a la envolvente (exteriores e interiores).

Tomando en cuenta esta clasificación se elaboró un mapeo de las protecciones solares disponibles en el mercado y con mayor uso en la construcción en nuestro país y se seleccionaron los tipos de protecciones a estudiar considerando los siguientes criterios para su selección:

1- Mayores ventas en el mercado (Hunter Douglas) 2-Criterios de selección de las mayores compra estatales (búsqueda en página: www.comprasestales.com.uy)

3-Antecedentes estudios anteriores.

En función de la cantidad de compras estatales realizadas entre el febrero 2017 y agosto de 2017 desarrolladas por los distintos ámbitos del Estado para la adquisición de protecciones solares se llegó a la conclusión que las mayores compras fueron los tipos de cortinas interiores y rollers (PS2 y PS3). Se encontraron en todo el sitio 805 compras estatales de protecciones, el 60% cortinas interiores de voile y el resto rollers. Se contactó a los dos mayores proveedores adjudicados en estas compras para comprarles las mismas: Paloma, Verosol-bandalux y Don Mario. Se elige a Verosol-bandalux por el menor costo de las protecciones. Por otro lado debido al incremento en el uso de chapas perforadas como protección fija, se contactó a la empresa Luz y Arte quién es la única proveedora de Hunter Douglas del país. Esta última nos indicó que la mayoría de las compras "son las chapas simples, son chapas conformadas donde las perforaciones posibles en ellas son entre un 16% y un 21 % de apertura. Con aqujeritos entre 2 y 3 mm de diámetro. Los colores más vendidos son los distintos tonos de grises, la materia prima que generalmente se usa es aluzinc alma de acero bañada en aluminio y zinc por su mejor relación calidad precio...En cuanto a la pintura para cualquiera de las materialidades es pintura polyester al horno con brillos que van desde un 6 % a un 45 % de brillo... las chapas simples son las más usadas primero por su precio (de nuestros productos es lo más económico) y en segunda instancia que es útil en cualquier orientación, con un parasol discontinuo debe haber un estudio más profundo de asoleamiento para su real utilidad".

De lo expuesto anteriormente se llegó a la siguiente clasificación de tipologías de protecciones como casos de estudio para analizar:

SISTEMA	TIPO DE PROTECCIÓN	UBICACIÓN	DENOMINACIÓN
Venecianas		exterior e interior	PS1
Paneles	chapa perforada curva	exterior	PS2
Paneles	chapa perforada recta	exterior	PS3
Rollers	screen	exterior e interior	PS4

5.1.2. Caracterización de las protecciones solares



Figura 1. PS1- Venecianas



Figura 2. PS2- Chapa perforada ondulada



Figura 3. PS3 - Chapa perforada recta



Figura 4. PS4 - Tela screen

La protección solar PS1- cortina veneciana presenta las siguientes características, lamas horizontales de aluminio liso, ancho de lamas 25 mm, distancia entre lamas 22 mm, terminación color Plata (Figura 1).

Se aclara que para la PS1- cortina veneciana, la normativa ISO 15099 indica que las mediciones de factor solar deben estar dadas con el posicionamiento de las lamas a 45º (evitando así el ingreso de radiación directa).

Para posicionar las lamas en la condición requerida se utilizó inicialmente planchas rígidas de poliestireno expandido sobre las que se insertaron las lamas; Si bien cumplía su función resultaba poco práctico y se deterioraba con la radiación. Posteriormente, se realizó una plantilla en acrílico cortada a láser, con las ranuras necesarias para que cada lama quede en la posición buscada.

La PS2 - chapa perforada curva, es de material aluzinc, de espesor 0.5mm, en color aluminio con terminación en pintura polyester al horno y perforación del 16%. Se presenta detalle de geometría y perforaciones en figura 5. La protección se colocó para ensayar con las líneas que conforman la curvatura en posición horizontal (Figura 2).



Figura 5- Características técnicas del proveedor chapa perforada curva

La chapa perforada trapezoidal, PS3, es de material aluzinc, de espesor 0.5mm, en color aluminio con terminación en pintura polyester al horno y perforación del 20%. Se presenta detalle de geometría y perforaciones en figura 6. La protección se colocó para ensayar con las líneas que conforman los pliegues en posición vertical.



Figura 6- Características técnicas del proveedor chapa perforada trapezoidal

La tela screen PS4 utilizada en cortinas tipo roller es de visillo fijo, color blanco y calado al 5%.

5.1.3 Instrumentos de medición

Para la selección de los instrumentos que registraron los datos de radiación solar se consultó por un lado a investigadores nacionales (Mg. Lic Mario Bidegain y Dr. Ing. Rodrigo Alonso-Suárez) quienes realizan este tipo de mediciones para el Instituto de Meteorología del Uruguay, InuMet y para el Laboratorio de Energía Solar de la UdelaR desde hace varios años; por otra parte la norma ISO 9060 donde se especifica la toma de datos de calidad, para la experimentación.

En base a estas fuentes llegamos a la siguientes requisitos básicos de los equipos para medición de radiación solar a adquirir: *Piranómetro: rango espectral de 285 a 3000 nm; Pirgeómetro: rango espectral 4µm - 50µm (medio interior) y Data logger: para la adquisición de datos.*

Para las mediciones de radiación lumínica y temperatura el Departamento ya contaba con instrumentos propios los cuales fueron calibrados para su utilización.

A continuación se detallan los instrumentos utilizados en los ensayos:

Pirgeómetro SGR3-V Kipp&Zonen, de rango espectral de 4.5 a 42 μm, sensibilidad 14.63 μm/W/m2 y campo de visión 150°, según especificación de la calibración del fabricante. Éste instrumento se utiliza para la medición de la radiación infrarroja (onda larga) dentro del rango espectral anteriormente explicitado. Se registraron los datos cada 30 segundos (ver figura 7).



Figura 7. Pirgeómetro utilizado en las mediciones

- <u>PiranómetroSPLite 2 Kipp&Zonen</u>, de rango espectral 400 a 1100nm y sensibilidades de 65.4 μm/W/m2 para el interior y de 68,4 μm/W/m2 para el exterior, ambos valores medidos a incidencia normal y 1.5 de irradiancia solar, y campo de visión 180º, según especificación de la calibración del fabricante(figura 8).

Si bien los piranómetros de silicio no cubren la totalidad del rango espectral deseado, Bustamante et al (2015) presentan resultados de investigaciones realizadas donde verifican que estos instrumentos presentan un desempeño adecuado para este tipo de mediciones.

Se utiliza para medir radiación solar de onda corta (directa + difusa), se dispone de dos instrumentos para registrar de forma simultánea, uno colocado al exterior de la protección para medir radiación incidente y otro colocado por detrás de la protección para medir la radiación que pasa a través de la protección. Se registraron los datos cada 30 segundos.



Figura 8. Pirgeómetro utilizado en las mediciones

- Luxómetros Extech HD-450, de rango 0 a 400.000 lux, ver figura 9. Los luxómetros fueron calibrados en la Facultad de Ingeniería-UdelaR.

Se utilizan para registrar los niveles de radiación lumínica. Se ubicaron dos instrumentos para registrar de forma simultánea, uno colocado al exterior para registrar los niveles de radiación incidente y otro posicionado detrás de la protección para medir los niveles de radiación lumínica que permite pasar la protección. Se adquirieron los datos cada 30 segundos.



Figura 9. Luxómetro Extech

-<u>Registrador de temperatura de bulbo seco OnsetHobo H8 Family -</u>Los equipos fueron calibrados en el LATU, Laboratorio Tecnológico del Uruguay por el Departamento de Metrología.



Figura 10. Registrador de temperatura

Los registradores (figura 10), fueron utilizados para la medición de la temperatura del aire (Temperatura de bulbo seco, Tbs) y humedad relativa (%). Las características del equipo son las siguientes; Temperatura del aire con un rango de -20° a 70°C (-4° a 158°F), una exactitud de ± 0.35°C de 0° a 50°C (± 0.63°F 17 de 32° a 122°F), una resolución de 0.03°C a 25°C (0.05°F a 77°F), una deriva de 0.1°C/año (0.2°F/año) y con un tiempo de respuesta de 6 minutos típico 90% en un flujo de aire de 1m/s (2.2mph). Para la humedad relativa (%) con un rango de 5% a 95%, una exactitud de ± 2.5% de 10% a 90% RH típica, hasta un máximo de ±3.5% incluyendo histéresis a 25°C (77°F); abajo de 10% y arriba de 90% ±5% típica, una resolución de 0.05% RH.

Estos instrumentos se utilizaron para registrar las condiciones de temperatura al exterior y las condiciones de temperatura dentro del dispositivo de ensayos. Se adquirieron los datos cada 30 segundos.

El levantamiento de los datos para su posterior procesamiento se realiza en el caso de los piranómetros y pirgéometros a través de un registrador LOGBOX-SE de Kipp&Zonen y para los luxómetros se utiliza el registrador incorporado en el equipo. En todos los casos incluyendo los registradores de temperatura se utilizan los software de cada sistema para la descarga de datos. En el anexo 2, se presentan los detalles de configuración utilizados.

5.1.4 Diseño del dispositivo de ensayo

Para considerar el diseño del *dispositivo de ensayo* se recopiló información de ensayos experimentales de investigaciones en esta materia que desarrollaron otras universidades:

-Universidad de Lund,Suecia

Wall et Al. (2001) utiliza un calorímetro dentro de una caja de poliestireno expandido de 100 mm de espesor con chapa de aluminio de 0.5mm. El frente se construye en madera contrachapada. Debido a la baja inercia térmica, se pueden realizar mediciones rápidas con precisión mantenida, a escala real.

-Universidad de Lausana, Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB) / Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL).Los investigadores, <u>Thanachareonkit et al</u>, 2005 realizaron un estudio comparativo de mediciones en modelo a escala real y maqueta 1/10, en ella detallan que concluyen que existen diferencias en los resultados, y que lo central son las terminaciones de las superficies interiores, ya que en los modelos a escalas la componente de reflexión interior contribuye a incrementar el error. La clave es utilizar reflectancias menores.

-Indriago et al, 2002 muestran como Soler y Oteiza ya en 1996 en la Universidad de Zulia, Venezuela, desarrollan métodos experimentales, así como informáticos y de dispositivos para la iluminación natural de los edificios. Paralelamente en el mismo sentido en la Universidad de Buenos Aires, UBA, <u>Evans et al (1999)</u> utiliza modelos a escala en el cielo artificial. En este estudio pone énfasis en las características de reflexión de los acabados superficiales interiores y exteriores. Ambos estudios muestran que la concepción y dimensionamiento de los sistemas para la iluminación natural puede realizarse para edificios ya existentes, o utilizando modelos a escala 1:1 que imiten los locales de interés, pero lo más común es utilizar maquetas a escalas 1:10 - 1:25. Esto es posible debido a que los mecanismos de reflexión de la luz no son sensibles a los fenómenos de escala: la longitud de onda de la radiación incidente (380-780 nanómetros) es muchísimo más pequeña que las dimensiones de las maquetas y de los edificios reales. Lo central es respetar las <u>propiedades fotométricas</u> (a menudo poco conocidas) de los materiales utilizados, es decir importa los colores que se utilizan para el prototipo.

-Pattini (2000) en la Universidad de Mendoza, efectúa una evaluación de la iluminación natural en edificios. Modelos a escala, muestra la importancia de: Tamaño del sensor; los elementos de fijación y las reflectancias de las superficies. Recomendando utilizar color gris y proteger las juntas de la caja con cinta opaca. En la investigación se indica la necesidad de utilizar factores de corrección por perfilería de ventana y tipo de vidrio.

-*Kuhn, T (2006)* del FraunhoferInstitutefor Solar energySystem en: Solar control: a general evaluation method for facades with venetian solar control systems, en el artículo plantea un método real para evaluar el desempeño de las propiedades de control solar de venecianas. Plantea un método particularmente diseñado para usar en venecianas, para oficinas en Alemania, Austria y Suiza. El modelo a escala que se propone, trata a toda la unidad de acristalamiento como una capa y el dispositivo de sombreado como otro. Se utiliza el software WINDOWS.

-Appelfeld, D (2012) en la Universidad Técnica de Dinamarca, plantea en An hourly-based performance comparison of an integrated micro-structural perforated shading screen with standard shading systems. Este artículo evalúa el rendimiento térmico de una chapa microperforada y muestra que el desempeño de la protección es angular-dependiente. Basa su estudio experimental en un dispositivo de medición donde utiliza luxómetros y piranómetros al exterior de la protección y detrás de ella. El dispositivo permite variar los ángulos y la orientación para estudiar la dependencia angular.

-Mainini, A., et al (2013), en 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.La efectividad de las protecciones depende de su geometría, textura y aplicación. Las propiedades ópticas se midieron para ángulos de incidencia entre

normal y 60 ° con un paso de 15 °. Los datos recopilados se integraron para obtener valores de transmitancia visible y solar de acuerdo con ISO 9050. También se utilizó el software WINDOWS.

En base a la bibliografía relevada se confeccionó una caja cúbica de 0.70m de lado para ubicar los instrumentos y con una cara libre para posicionar las protecciones a ensayar. Ver figura 11.



Figura 11. Dispositivo de ensayos

La información recaba de investigaciones en la materia permitió determinar la materialidad y componentes del dispositivo de medición. Se detallan a continuación las consideraciones de diseño que se tomaron:

- Envolvente exterior:

La envolvente de la caja es de tableros de compensado de madera de 1" de espesor, a la que se le agregó como material aislante el poliestireno expandido de 2cm de espesor, cuya conductividad térmica λ es de 0.025 [W/m·K] y una densidad de 20g/m³, por el exterior se le agregó una capa de membrana con terminación de aluminio cuya reflectancia global lumínica es de 0.798 [59] Echazú, et al (2000) realizan el estudio de materiales reflectivos para concentradores solares para mejorar la reflexión de la radiación solar incidente. El objetivo es mejorar la reflexión de la radiación solar incidente y disminuir las transferencias de calor al interior de la caja, evitando las radiaciones de onda larga que se pudieran producir por el calentamiento de la envolvente.

- Superficies interiores:

Los tableros de viruta (de baja rugosidad) fueron pintados con una esmalte sintético gris oscuro mate, cuya reflexión lumínica es de entre 0.10 y 0.20. Se busca mediante estas terminaciones lograr un comportamiento aproximado al de una superficie lambertiana o perfectamente difusora, es decir, producir una superficie ideal que refleja la energía incidente desde una dirección igual en todas direcciones, por lo cual al variar el punto de vista, su luminancia no cambia.. Es por este motivo también que la caja es un cubo de 0.70 x 0.70 x 0.70m.

- Ubicación de los instrumentos:

Se consideró la ubicación de los instrumentos de acuerdo a las distintas posiciones en las que se debían realizar las mediciones, contemplando las características técnicas de cada uno (campo de visión) y las obstrucciones que pudiera generar la propia caja en las diferentes posiciones. La caja debía permitir la medición en posición inclinada de forma de quedar la protección normal a la radiación solar y en posición simplemente apoyada. Para posición inclinada, los instrumentos interiores, luxómetro, piranómetro y pirgeómetro, se colocan paralelos a la protección solar, abarcando dentro de su ángulo

visual únicamente el vano de la caja, donde irá colocada la protección solar. Los instrumentos exteriores luxómetro y piranómetro, se ubican fuera de la caja, en la misma posición relativa que los instrumentos interiores, sobre un soporte (marco de madera) de manera tal que no influyan las reflexiones de la propia caja. Por otro lado, para la posición en que la caja está simplemente apoyada, el luxómetro interior, pasa a ubicarse en el piso de la caja (considerando medir un plano de trabajo), y el exterior, se ubica sobre una superficie plana (banco) en la misma posición relativa que el interior. Los demás instrumentos mantienen su posición.

El Hobo interior se coloca en el baricentro de la caja de forma tal que no reciba radiación directa. Se coloca un solo registrador al interior del dispositivo, ya que según Chauvie (2003) y Mathews et Al (1994) en lugares donde no hay gran producción de calor, se recomienda colocar un registrador. El Hobo para registrar las condiciones exteriores, se ubica en un lugar ventilado y fuera de la radiación solar directa.

Para el posicionamiento de los instrumentos se experimentaron varios caminos: En primer lugar se utilizó una varilla roscada de 6mm, la cual, mediante un sistema de tuercas y arandelas permite ubicar los soportes de madera (también construido por nosotros) donde se ubican los instrumentos. Esto permite ubicar los soportes a distintas alturas, intercambiarlos de posición, o bien agregar algún instrumento más. Esto había sido un requerimiento de proyecto desde el primer momento, ya que, según un estudio de sombras generado en Ecotect, en determinada época del año, en posición simplemente apoyada, la propia caja arrojaba sombras sobre los instrumentos, por lo cual, era necesario que el sistema contemplara poder reubicarlos fácilmente.



01-Vista del modelo02-Norte-0º-1mar-10.30a15.30-c15min

03-Norte-0º-15mar-10a16.30-c15min



04-Norte-60º-1mar-11a13-c10min/05-Este-0º-1mar-6.30a11.30-c5min/06-Norte-0º-15nov-12a14-c10min Figura 12. Imágenes Ecotec, para evaluar el impacto de la sombra

Pudimos constatar luego, que dicha varilla, frente a los vientos que presenta la azotea, hacía que los instrumentos vibraran, pudiendo conducir a errores en la medición. Dado que la pieza era muy esbelta, se opta por cambiarla por una varilla roscada de 11 mm, lo que dio solución al tema de las vibraciones.

Otro problema surgió entonces con el transporte de la caja, inclinación y demás movimientos, provocaba naturalmente, que las tuercas y arandelas se aflojaran. Estando vinculados los soportes de madera, en un solo punto, a la varilla (eje de apoyo), los instrumentos no mantenían exactamente la

posición paralela a la protección, ya que "giraban". Esta situación nos hizo optar por una opción que fija los instrumentos mediante perfiles de aluminio nivelados, colocados de acuerdo al vano donde se ubica la protección (ver figura 12 y 13).

Otro estudio de sombras fue necesario para que los instrumentos no se vieran afectados por la sombra de acuerdo a las orientaciones que nos interesa estudiar (N, E y NO). La ubicación de los instrumentos está prevista en función de poder realizar mediciones con la caja simplemente apoyada durante el periodo de verano, sin que la caja genere obstrucciones en el asoleamiento de los instrumentos (ver figura 13, 14 a y b)



Figura 13. Estudio de sombreamiento sobre los instrumentos colocados en perfil horizontal



(a) (b) Figura 14 Posicionamiento de instrumentos sobre varilla (a) Posición inicial (b) posición final

- Cerramiento del vano del prototipo:

Se decidió ensayar las protecciones sin la utilización de ningún tipo de vidrio ya que los valores de factor solar, reflexión lumínica, y transmitancia térmica de los vidrios son conocidos y ensayadas en laboratorios según normativa UNIT-ISO 6946:2018 para los distintos tipos de vidrios. Por otro lado, se buscó simplificar las mediciones, entendiendo que, entre el vidrio y la protección existen interacciones que no permiten identificar el comportamiento solo de la protección. En un tercer punto, a los fines de la medición, con la presencia de vidrio, se estaría generando el efecto invernadero es decir el vidrio deja pasar la radiación de onda corta que calienta el interior de la caja, pero no deja escapar el calor que permanece dentro y aumenta la temperatura, todo esto afectaría a las mediciones, alterando los resultados.

- Cables de los instrumentos.

Como el color original de los instrumentos es el amarillo, cuya reflexión es elevada se decidió recubrir el cable con cinta aislante negra, minimizando así también las posibles reflexiones generadas.

5.1.5. Entorno de la caja

Las mediciones se realizaron en la azotea de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UdelaR, por ser el espacio disponible con mejores condiciones para realizar las mediciones.

Se identifica que el lugar de medición (azotea) presenta algunos elementos que pueden significar obstrucciones en los campos visuales de los instrumentos, y que las mismas son diferentes en función de la orientación.

Se tomaron los siguientes criterios para ubicar el dispositivo de medición según las indicaciones de los fabricantes, las distancias que la caja debe respetar con respecto a las obstrucciones próximas del lugar son h x 10, es decir, la caja debe estar ubicada a por lo menos 10 veces la altura del objeto que genera dicha obstrucción (figura 16 y 17).

En base a ello, se identifica el sector de la azotea que mejor desempeña la lectura del contexto con la menor incidencia de obstrucciones cercanas. Teniendo en cuenta que el análisis está centrado en estudiar la relación porcentual (interior-exterior), el entorno de acuerdo al lugar elegido, presentará la misma relación de obstrucciones, en cada orientación, para todas las protecciones.

Para la ubicación donde se realizarán los ensayos, las distancias deberán ser: a 20m de la viga invertida y a 50m del salón 21B. Se considera también, evitar en el campo de visión la copa de los árboles cercanos.

Con el fin de evitar las reflexiones de radiación solar del cerramiento horizontal (azotea de Facultad de Diseño, Arquitectura y Urbanismo) donde se apoya la caja se coloca en cada medición, una tela trinitrotolueno (TNT) de color negro, ya que su reflexión es de 0.10. Las medidas son de 4x4 metros ubicada bajo la base de la caja para evitar que las reflexiones indirectas puedan afectar las mediciones.



Figura 15. Ubicación del prototipo y Su entorno.



Figura 16. Plano de ubicación del prototipo en función de las obstrucciones

5.1.6. Condiciones de Ensayos

- Posicionamiento de la caja

De acuerdo a los objetivos planteados, las mediciones se debían realizar para diferentes posiciones:

POSICIÓN 1- INCLINADA DE FORMA NORMAL A LA RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE- Ésta es la condición establecida por norma para determinar el Factor Solar de una protección mediante ensayo en laboratorio (ANSI/NFRC 200-2014 y UNE-EN 14500:2010). Se ubica la cara con la protección solar normal a la radiación solar incidente considerando una desviación de hasta 5° (rango de mayor exigencia de las normas consultadas para la determinación del factor solar).

Debido a la variación en la trayectoria del sol, la medición se realiza al mediodía solar con la protección enfrentando el norte geográfico. Se variará la inclinación de la caja, por variar la altura del sol y se mantendrá fijo el azimut, norte geográfico. ver procedimiento de determinación del norte y mediodía solar.

POSICIÓN 2 - SIMPLEMENTE APOYADA – Se ensayaron las protecciones para la orientación Este, Norte y Noroeste de forma de abarcar un amplio rango de posiciones características de las fachadas de los edificios. Se ubica el dispositivo de ensayos apoyado sobre la superficie de la azotea sin ninguna inclinación. Se direccionará la cara con la protección solar en las diferentes orientaciones, variando el azimut y no la altura.



Figura 17. Posicionamiento de la caja

Para lograr el correcto posicionamiento del dispositivo de medición se debieron implementar elementos complementarios al dispositivo:

Ubicación de la normal a la radiación solar incidente y ±5º

Para poder ubicar la normal a la radiación solar incidente, construimos un elemento que consta de 2 caras. La primera (de cara al sol) tiene un orificio de 10mm centrado. La segunda, tiene impreso un registro de círculos concéntricos de 5, 10, 15 y 30º (figura 19). Este elemento se apoya sobre el techo de la caja, alineado con su geometría. Si se quiere posicionar la caja normal al sol, se inclina hasta que, la luz que atraviesa el orificio de la primera cara, toque el centro del registro de la segunda. Como el interés del proyecto es medir en un rango de 5º, posicionamos la caja a la altura del mediodía solar, inclinándose Xº (para obtener la trayectoria del sol en esa fecha utilizamos el programa Geosol), para luego, mover la caja de manera tal que el círculo de luz que atraviesa la primer cara quede tangente al círculo de 5º del registro de la segunda. De cierta forma, nos adelantamos al Sol 5º verificando que, efectivamente, el círculo de luz quede en el medio del registro a la hora del mediodía solar (figura 19).



(a) (b) (c)
 Figura 18. Dispositivo para ubicar la caja de forma normal al sol (a) posición al iniciar la medición (b) posición al medición (c) posición al finalizar la medición

- Ubicación del Norte

Se encontró dificultad para poder ubicar y materializar el Norte en el espacio de ensayo (azotea), por ejemplo, por contar con instrumentos que permitieran identificar directamente el Norte geográfico, ya que las brújulas permiten ubicar el Norte magnético.

Se decide ubicar el Norte con un "reloj de sol", generando un dispositivo que permita marcar su sombra sobre un plano nivelado (la azotea por su materialidad es un plano irregular).

Se marcaron las sombras durante 10 minutos, antes y después del mediodía solar, de forma de poder identificar cual es la sombra más corta y así tener la dirección norte con más exactitud (ver figuras 19, 20 y 21).



Figura 19. Nivelación del plano para marcar el Norte

Marcada dicha dirección sobre el plano nivelado se trasladó a la azotea utilizando un nivel láser. En base a la dirección Norte obtenida, se marcaron las direcciones Este y Noroeste, particularmente, por ser orientaciones de interés para el proyecto (ver figuras 20, 21 y 22).



Figura 20. Transferencia del norte al suelo de azotea

- Condiciones del estado de cielo para la medición

En una primera instancia se consideró realizar mediciones en días <u>despejados, poco nubosos</u> o <u>nubosos</u> Posteriormente se analizó que, debido a la finalidad que tienen en su uso las protecciones solares, se deberían realizar las mediciones sólo en días soleados, para el solsticio de verano de niveles de radiación exterior en días despejados de aproximadamente 1120 W/m2 de radiación sobre el plano horizontal. La metodología de toma de datos fue largamente desarrollada en Lomas et al (1997) para luego ser utilizada para futuras simulaciones y definió que para obtener datos de calidad aceptable: **se debían tomar datos en sitio de temperatura interior y exterior; los datos deben ser al menos de hora a**

hora. Para obtener datos de alta calidad se deben tomar datos de radiación interior y exterior como en este caso.

Para verificar la condición de nubosidad del cielo, se recurrió a clasificación de nubosidad del <u>glosario de la Organización Meteorológica Mundial</u>, según indica la Nubosidad es la fracción de cielo cubierto de nubes y el cielo es el espacio atmosférico que vemos desde nuestro lugar de observación. Si se divide a la bóveda celeste vista por el observador en ocho partes iguales, se considera:

 $0 \le N$ — Despejado - Cielo claro es aquel que no presenta nubosidad alguna.

 $1/8 \le N \le 3/8$ — Poco nuboso - 1/8 A 3/8 partes de cielo cubierto por nubosidad baja, media o alta.

 $4/8 \le N \le 6/8$ — Nuboso - 4/8 a 7/8 partes cubierto por nubosidad baja, media o alta

Las mediciones se realizaron constatando que se cumplan las condiciones del estado del cielo indicadas previamente, verificando mediante espejo curvo (Figura 23) antes, durante y al finalizar la medición la condición de nubosidad de la bóveda celeste.



Figura 21 Evaluación de condición del cielo mediante espejo curvo

- Período de toma de datos

Se propuso un esquema de mediciones, considerando medir **3 tipos de protección**, (*Screen* blanca, veneciana y chapa perforada trapezoidal) en **3 orientaciones con el dispositivo de medición** simplemente apoyada (Norte, Este y Noroeste), en fechas cercanas al solsticio de verano. Además de la medición en condición normal para obtener el valor de Factor Solar por norma.

Las mediciones se realizaron para cada orientación durante las horas en que el plano de estudio recibe mayores niveles de radiación directa de acuerdo al estudio presentado en la Figura 23a y 23b, resultando los siguientes horarios de ensayo para cada posición:

posición	horario
Orientación Este	7:00 a 12:00 (hora legal)
Orientación Norte	11:00 a 14:30 (hora legal)
Orientación Noroeste	13:00 a 18:30 (hora legal)
Posición normal a la radiación	20 minutos antes y después
	del mediodía solar

				c		
Fiaura 22	Orientación v	i hora en	ALLA SA	etection	las n	nediciones
iguru 22.	Oncincación	, nora cn	yuc sc	cjectuan	ius ii	iculcionics

III <th< th=""><th></th><th>0:46</th><th></th><th></th><th>21 Jun</th><th>n - 34 *</th><th></th><th></th><th></th><th>0:38</th><th></th><th></th><th>21 Set</th><th>- 56 *</th><th></th><th></th><th></th><th>0:42</th><th></th><th></th><th>21 Di</th><th>c - 78 *</th><th></th><th></th></th<>		0:46			21 Jun	n - 34 *				0:38			21 Set	- 56 *				0:42			21 Di	c - 78 *		
1546 459 549 567 567 567 568 501 0 88 0 67 68 501 0 68 501 0 67 68 501 0 67 68 501 0 67 68 501 0 67 68 501 0 67 68 501 0 68 501 0 68 501 0 68 501 0 68 501 0 68 601 0 68 501 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 68 601 0 <th>HL</th> <th>HS</th> <th>N</th> <th>Rad</th> <th>E</th> <th>Red</th> <th>NW</th> <th>Rad</th> <th>HL</th> <th>HS</th> <th>N</th> <th>Red</th> <th>E</th> <th>Rad</th> <th>NW</th> <th>Red</th> <th>HL</th> <th>HS</th> <th>N</th> <th>Rad</th> <th>Ε</th> <th>Red</th> <th>NW</th> <th>Rad</th>	HL	HS	N	Rad	E	Red	NW	Rad	HL	HS	N	Red	E	Rad	NW	Red	HL	HS	N	Rad	Ε	Red	NW	Rad
	5:45	4:52							5:45	5:07							5:45	5:03		0		83		0
4:3 3:29 4:50 5:47 5:37	6:00	5:14							6:00	5:22							6:00	5:18						
6.20 5.44 5.57 6.27 0 6.56 6.07 700 6.14 700 6.14 700 6.21 0 700 6.21 0 700 6.21 700	6:15	5/29							6:15	5:37							6:15	5:33						
4.48 5.59	6:30	5:44							6:30	5:52				_			6:30	5:48						
200 6:41 700 6:21 700 6:13 700	6:45	5:59							6:45	6:07			-	_			6:45	6:03		0	_	447	-	0
7.15 6.29 7.16 6.29 7.16 6.37 7.16 6.37 7.16 6.37 7.16 6.37 7.16 6.37 7.16 6.37 7.16 6.37 7.20 6.4 7.20 7.20 6.4 7.20 6.4 7.20 6.2 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 7.20 <td>7:00</td> <td>6:14</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7:00</td> <td>6:22</td> <td></td> <td>_</td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7:00</td> <td>6:18</td> <td></td> <td></td> <td>В</td> <td>_</td> <td></td> <td></td>	7:00	6:14							7:00	6:22		_	D				7:00	6:18			В	_		
7.30 6.44 7.30 6.43 7.30 6.43 7.44 7.45 6.57 8.50 7.44 7.45 7.47 6.60 7.20 6.20 7.44 7.45 <	7:15	6:29							7:15	6:37							7:15	6:33						
7.86 7.90	7:30	6:44	_						7:30	6:52							7:30	6:45		-		44.4		
100 172 1 <td>7:45</td> <td>0:39</td> <td></td> <td>_</td> <td></td> <td></td> <td><u> </u></td> <td></td> <td>7:45</td> <td>7307</td> <td>_</td> <td>00</td> <td></td> <td>432</td> <td></td> <td>0</td> <td>7:45</td> <td>7503</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>927</td> <td></td> <td>0</td>	7:45	0:39		_			<u> </u>		7:45	7307	_	00		432		0	7:45	7503		0		927		0
123 7/3 133 7/3 133 7/3 133 7/3 1333 133 133 <th< td=""><td>8:00</td><td>7:14</td><td><u> </u></td><td>-</td><td>- P -</td><td></td><td><u> </u></td><td></td><td>8:00</td><td>7:22</td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>8:00</td><td>7:18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td></th<>	8:00	7:14	<u> </u>	-	- P -		<u> </u>		8:00	7:22		-					8:00	7:18					-	
$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	8:15	7.44		-		-			8:40	242	0	-	-				8.40	7.23						
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	0.00	2.60		107			<u> </u>	0	0.00	1.54	-	101		6.01		0	0.00	8,08		0		46.0		0
0.0 0	840	8-24		131			<u> </u>	0	8.45	8/22		191	_	284		0	0.00	8.1.9				808		0
1.2.2 2.2.4 2.2.4 2.2.4 2.2.5 0	915	8/29		-			-		9-15	8-17					-		9.15	8-53		_		_	-	
Desc	230	8-44		-			-		9:30	843		-	-			_	9.30	848	-			_		
1000 9.24 9.25 100 9.27 100 9.28 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 100 9.21 </td <td>2.44</td> <td>849</td> <td></td> <td>1.81</td> <td>-</td> <td>215</td> <td>-</td> <td>19</td> <td>9.45</td> <td>9-07</td> <td></td> <td>317</td> <td>-</td> <td>644</td> <td></td> <td>0</td> <td>9.45</td> <td>9.03</td> <td></td> <td>1 923</td> <td></td> <td>4.72</td> <td></td> <td>0</td>	2.44	849		1.81	-	215	-	19	9.45	9-07		317	-	644		0	9.45	9.03		1 923		4.72		0
1015 929 1016 1017 1018	10:00	9:14			-	100			10:00	9:22							20:00	9.18				-	-	
1000 0.00	10-15	9/29							10:15	9-97							10:15	9.53						
10.05 9.55 9.55 9.56 9.55 9.57 11.00	10:30	2:44					-		10:30	9:52		_					10:30	2.43		-		_		
1100 20.24 11.05 10.00	10:45	2:52		519		350		151	10:45	10:07		415		420		0	30.45	10:08		117		424	-	0
11135 1220 11135 1220 11135 1220 11135 1220 11135 1220 11135 1220 1230 <td>11:00</td> <td>10:14</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td>11:00</td> <td>10:22</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>11:00</td> <td>10:18</td> <td>A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	11:00	10:14			-			-	11:00	10:22							11:00	10:18	A					
1140 10.04 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 10.02 11.40 11.40 10.02 11.40 11.40 10.02 11.40	11-15	10:29			_	-		_	11:15	10:37		_	_				11:15	10:33					1	
1145 1029 598 F 20 1148 1107 477 D 224 D 1200 1141 F 1200 1120 D 1200	11:30	10:44			-	-		-	11:30	10.52							11:30	10:48					-	
12:00 11:14 F 12:00 11:22 D 12:00 11:23 11:	11:45	10.59		598	F	305		302	11:45	11:07		477	Ð	224		179	11:45	11:08		170		225		0
1223 1124 1230 1124 1230 1123 1130 1230 1230 1123 1130 1230 1240 1230 1124 1230 1124 1230 1246	12:00	11:14					F		12:00	11:22		-			D		12:00	11:18		1	8		-	
12-20 11.44 0 442 0 12/2	12:15	11:29							12:15	11:37							12:15	11:33						
12-45 11-50 622 0 646 12.45 2.207 648 0 325 1300 12.14 0 12.14 0 12.14 0 12.14 0 12.14 1300 12.14 0 544 13.30 12.24 100 12.14	12:30	11:44							12:30	11:52							12:30	11:48			_			
13:00 12:24 13:00 12:27 100 12:30 <	12:45	11:59		625		0	_	442	12:45	12:07		493		0		352	12:45	12:08		2.89		0		134
13.13 12.24 1 13.15 12.25 1<	13:00	12:14							13:00	12:22		1					13:00	12:18		1			8	
1330 12.44 1 1330 12.55 1330 12.64 12.7 0 3330 15.63 12.64 1 <t< td=""><td>13:15</td><td>12:29</td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td>_</td><td>· · · · ·</td><td>13:15</td><td>12:57</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13:15</td><td>12:33</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	13:15	12:29			-		_	· · · · ·	13:15	12:57							13:15	12:33						
13.84 12.89 1526 0 544 1345 1347 0 425 1345 130 0 220 14.10 13.44 1 1425 1327 1 1 1425 1323 1 0 420 14.25 13.24 13.45 13.25 1 1 1425 1327 1 1 1 14.25 13.25 1 1 1425 13.25 1 1 1 1 1 14.25 13.25 1 <td< td=""><td>13:50</td><td>12:44</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13:30</td><td>12:52</td><td></td><td>_</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13:30</td><td>12:48</td><td>_</td><td>_</td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	13:50	12:44							13:30	12:52		_					13:30	12:48	_	_				
1440 13:4 1440 13:2 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 1440 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3 14:3 13:3	13:45	12:59		598		0		544	13:45	13:07		477		0		495	13:45	13:08		170		0		280
1413 13.23 142.5 13.57 142.5 13.51 142.5 13.51 142.5 13.51 142.5 13.52 13.52 <td< td=""><td>14:00</td><td>13:14</td><td></td><td>_</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>14:00</td><td>13:22</td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td>_</td><td>34:00</td><td>13:18</td><td></td><td>_</td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	14:00	13:14		_					14:00	13:22		-				_	34:00	13:18		_				
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	14:15	13:29							14:15	13:37		_					34:35	13:33						
14.45 14.45 14.45 14.75 0 320 117 0 320 1500 14.16 1500 14.16 1500 14.16 117 0 320 1500 14.21 1500 14.21 1500 14.18 117 0 320 1500 14.40 1500 14.22 1500 14.18 117 0 320 1500 14.40 1500 14.22 1000 14.18 1000 15.15 14.23 1000 14.18 1000 1000 14.18 1000 117.10 14.18 1000 117.10 1000 11100 111000 1110000 $1110000000000000000000000000000000000$	14:30	13:44							14:30	13:52		-					14:30	13:48	A	_				
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	14:45	13:59		519		0		583	14:45	14:07		415	-	0		500	34:45	14:05	_	117		0		563
$ \begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	15:00	14:14		-				_	15:00	14:22						_	15:00	14:18				_		-
15:30 14:30 14:30 14:30 14:30 14:30 15:45 14:55 15:45 14:55 15:45 14:55 15:45 16:30 15:46 16:45 15:57 10 15:45 15:45 16:30 15:46 16:45 15:57 10 16:45 15:57 10 16:30 15:46 16:45 15:57 10 16:45 15:57 10 16:30 15:46 16:45 15:57 10 15:45 16:45 15:45 16:30 15:46 16:45 15:57 10 16:45 15:45 16:45 15:57 16:47 16:45 15:45 16:45 15:46 17:45 16:45 16:45 16:45 16:45 16:45 16:45 17:45 16:45 16:47 16:45 16:45 16:45 16:45 18:45 17:45 17:475 16:47 16:45 17:45 17:45 18:45 17:45 16:47 16:45 16:30 17:45 16:30 18:45 17:45 16:47 16:35 17:45 16:30 17:45 18:45 17:45 16:47 16:30 17:45	15:15	14:29		-				-	15:15	14:37		_		-		_	15:15	14:33				_		
15% 2,459 0 247 0 0 247 0 0 247 0 0 247 0 </td <td>15:30</td> <td>14:44</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>674</td> <td>15:30</td> <td>14:52</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>676</td> <td>15:30</td> <td>14:45</td> <td>_</td> <td></td> <td>_</td> <td>0</td> <td></td> <td>4.94</td>	15:30	14:44						674	15:30	14:52				0		676	15:30	14:45	_		_	0		4.94
1830 1334 1340 1343 1340 1243 1645 1557 1645 1547 1645 1543 1645 1557 1645 1557 1645 1543 1645 1557 1645 1557 1645 1543 1645 1557 1645 1543 1645 1543 1645 1557 1646 1645 1645 1645 1700 1644 1645 1647 1745 1646 1725 1646 1725 1647 1730 1648 1730 1644 1645 1747 1840 1745 1800 1722 1845 1730 1646 1645 1820 1744 1830 1752 1845 1733 1845 1759 1845 1607 1845 1830 1744 1900 1822 1945 1843 1945 1843 1945 1923 1844 1930 1852 1945 1843 1945	16.00	16.14		245				24.0	15,00	15.00		-	<u> </u>			040	16.00	12.12	-	20	_			~
13.3 3.3.5 13.3	16:15	16.10		_		_		_	16:16	16-97				_			20100	16.98				-		-
13.50 13.70	16-90	16.44		-					16:10	16.62			-			-	36-80	18-48				_		
17:00 16:14 17:00 16:22 17:00 16:14 17:35 16:32 17:35 16:37 17:35 16:33 17:30 16:44 17:30 16:52 17:30 16:44 17:35 16:59 17:45 16:52 17:30 16:44 18:00 17:14 18:00 17:22 16:15 17:30 18:15 17:37 18:15 17:33 18:15 17:33 18:20 17:44 18:00 17:22 18:15 17:33 18:20 17:44 18:00 17:22 18:15 17:33 18:45 17:59 18:45 16:07 18:45 16:03 2:04 19:00 18:45 18:07 18:45 16:03 2:04 19:00 18:45 18:07 18:45 16:03 2:04 19:00 18:45 18:07 18:45 16:03 2:04 19:00 18:22 19:00 18:18 19:15 18:33 19:20 18:24 19:30 18:15 18:33 19:15 19:20 18:24 19:30 18:25 19:30 18:15	16:45	15.50		197		0		\$28	16:45	16:07	C	191	-	0		546	16:45	16-08		0		0		427
12:00 12:00 <th< td=""><td>12:00</td><td>16-14</td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td></td><td></td><td>12:00</td><td>16-22</td><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td></td><td></td><td>17:00</td><td>16-18</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td><td></td><td>-</td></th<>	12:00	16-14		-	-	-			12:00	16-22			-	-			17:00	16-18		-		-		-
1730 1644 F 1730 1652 1730 1646 1745 1745 1745 1747 952 1745<	17:15	16:29		-				_	17:15	16-37				_		_	17:15	16-33				_		
1745 1659 1745 1767 352 1745 1768 548 1800 1734 1800 1722 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1815 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1718 1800 1815 1718 1800 1718 1800 1815 1718 1800 1815 1718 1800 1718 1800 1718 1815 1718 1815 1718 1815 1718 1815 1718 1815 1718 1815 1718 1815 1814 1910 1814 1910 1815 1815 1815 1815 1815 1815 1815 1815 1815	17:30	16:44	E				F		17:30	16:52				_			17:30	16:48				_		
18:00 17:14 18:00 17:22 18:00 17:18 18:15 17:37 18:15 17:33 18:15 17:33 18:20 17:54 18:00 17:52 18:15 17:33 18:15 18:20 17:54 18:00 17:52 18:00 17:46 10:00 18:45 17:59 18:45 16:07 18:45 16:03 2:04 19:00 18:45 18:07 18:45 16:03 10:04 <	17:45	16.59		-			_		17:45	17:07				-		352	17:45	17:08				-		348
18.15 17.37 18.15 17.33 18.20 17.44 18.30 17.52 D 18.30 17.46 18.45 17.52 D 18.30 17.46 204 18.45 18.45 18.67 18.45 18.03 204 19.00 18.22 19.00 18.18 19.00 18.23 19.00 19.25 18.29 19.15 18.37 19.15 18.33 19.30 18.44 19.30 18.52 19.30 16.46 19.30	18:00	17:14							18:00	17:22							18:00	17:18						
18:30 17:52 D 18:30 17:46 18:45 17:59 18:45 18:07 18:45 18:03 204 19:00 18:14 19:00 18:22 19:00 18:18 10:00 19:15 18:27 19:00 18:12 19:00 18:18 10:00 19:15 18:27 19:00 18:12 19:00 18:13 10:00 19:20 18:44 19:00 18:52 19:30 16:46 10:00	18:15	17:29							18:15	17:37							18:15	17:33						
18.45 17.59 18.45 18.07 18.45 18.03 234 19.00 18.14 19.00 18.22 39:00 18.18 19:00 18:12 19:00 18:13 19:00 18:13 19:00 18:13 19:00 18:13 19:00 18:14 19:00 18:15 18:13 19:00 18:14 19:00 18:15 10:00	18:30	17:44							18:30	17:52					D		18:30	17:48						
19:00 18:14 19:00 18:22 19:00 18:18 19:15 18:29 19:15 18:37 19:15 18:33 19:30 18:44 19:30 18:52 19:30 18:46 19:30	18:45	17:59							18:45	18:07						_	18:45	18:05						204
19.15 18.29 19.15 18.37 19.15 18.33 19.30 18.44 19.30 18.52 19.30 18.46 19.30	19:00	18:14							19:00	18:22							29:00	18:18						
1930 1844 1930 1852 1930 1848	19:15	18:29							19:15	18:37							19:15	18:33						
	19:30	18:44							19:30	18.52							19:30	18:48					8	i

COMPARATIVO DE PERÍODOS SIN AUTOSOMBREADO POR CAJA CON RADIACIÓN SOLAR POR FECHA Y ORIENTACIÓN

Figura 23. Comparativo de periodos sin autosombreado por caja con niveles de radiación por fecha, hora y orientación

Para las mediciones en fechas cercanas al 21 de diciembre se presentó la dificultad de las condiciones climáticas, no habiendo días en condiciones de cielo despejado para la medición. Por tanto se priorizan en ese periodo las mediciones con la posición del dispositivo simplemente apoyada, las cuales finalmente se realizaron entre se realizaron durante el mes de enero y febrero.

Es preciso indicar que durante algunas mediciones se constataron periodos acotados de nubosidad; la información correspondiente a estas mediciones fue descartada en el procesamiento de datos.

Las mediciones en condición inclinada se realizaron en los meses de Febrero, Mayo y Julio.

- Control de calidad de los datos

Para asegurar la calidad de los datos que se iban a obtener se debieron realizar una serie de actividades repetitivas que permitieron comprobar la confiabilidad de los mismos. Por este motivo es que se diseñó un protocolo de monitoreo (ver anexo 3), unos manuales de procedimiento para el uso de los equipos (ver anexo 2), unos pre-test de datos para evaluar los problemas de la adquisición y

manipulación de equipos, y unas pruebas piloto donde se ensayó formalmente el procedimiento del estudio.

Se pretendió con estas actividades llegar a una estandarización de la toma de datos para alcanzar el mayor nivel posible de uniformidad, minimizando los ruidos en las mediciones.

Para los pre-test se generó un manual para la colección de datos de los instrumentos que se encuentra en el Anexo 3, y con él se entrenó a todo el equipo.

Para las pruebas piloto se evaluó las necesidades de recursos (humanos y de los otros) que se deben tener para poder registrar los datos de radiación e iluminación, en el modelo que se elaboró. Para estandarizar los registros se efectúo un protocolo de monitoreo que presenta detalladas descripciones de exactamente cómo realizar los procedimientos específicos para la colección de datos (es decir qué ver y cómo hacerlo).

- Ajustes realizados a partir del pre-test y pruebas piloto

Los pre-test con los instrumentos permitieron eliminar posibles ruidos en las mediciones de las variables analizadas y determinar que las mediciones se realizarán cada 30 segundos, de forma de contar con la cantidad mínima de 30 datos, requerida en todas las mediciones para que tengan validez estadística. También permitió sincronizar los registros de los instrumentos en iguales horarios e intervalos.

Las pruebas pilotos llevaron a ajustar el procedimiento y condiciones de los ensayos. Al principio se comenzó midiendo en posición inclinada, condición normal a la radiación incidente, en un rango de 30º, en cualquier horario, de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos se verificó que la relación radiación interior-exterior no mantenía una relación durante el intervalo de medición y que esa variación no era simétrica respecto de la normal como se esperaba. Eso permitió verificar que la relación entre la radiación interior-exterior no mantiene una simetría respecto de la normal en cualquier momento del día, eso se debe a que la trayectoria del sol varía en altura y azimut, generando una variación en el ángulo de incidencia sobre la protección.

Para obtener el valor teórico por norma ISO 15099: 2010, se restringió la medición a 5º en condición normal al mediodía solar esperando obtener variaciones simétricas respecto de la normal. Se presentaron nuevamente mediciones asimétricas para todas las protecciones, con la particularidad de que se identificaba un patrón para cada tipo de protección.

La asimetría en la medición de la protección roller nos llevó a verificar que teníamos una ausencia de paralelismo entre los instrumentos y la protección. Y la asimetría en la veneciana y las chapas perforadas a profundizar el estudio de la incidencia de la geometría en la transmitancia solar y lumínica.

Esta situación nos condujo a verificar que en las protecciones que tienen una geometría no plana, la misma condiciona la relación de radiación que ingresa a través de la protección en los diferentes ángulos.

Una nueva revisión bibliográfica nos permitió profundizar en el comportamientos de las denominadas protecciones BSDF (Bidirectional Scattering Distribution Function), De acuerdo a De Gastines y Pattini (2017) y Andersen y De Boer (2006) las BSDF en la cual se inscriben las protecciones de chapa perforada, ondulada y la veneciana, tienen una respuesta diferente al ingreso de radiación según el ángulo de incidencia, con lo cual se desestima que el Factor Solar convencional medido en una situación normal sea representativo del comportamiento real de la protección.

A partir de estas primeras mediciones piloto y una nueva revisión bibliográfica, se presenta con mayor relevancia la medición de las protecciones en condición vertical (simplemente apoyada) orientadas en las diferentes orientaciones, de forma de evaluar el comportamiento real de las mismas.

Se ajusta entonces la planificación de mediciones, a lo presentado en la figura 24, de forma de obtener datos para todas las orientaciones.

Para simplificar las mediciones y considerando que las fachadas Este y Oeste son simétricas a la radiación se realizarán mediciones en fachada Este, Norte y Noroeste, de forma de abarcar un amplio rango de posiciones características de las fachadas de los edificios. Las mediciones se realizaron para cada orientación durante las horas en que el plano de estudio recibe mayores niveles de radiación directa.

Durante las pruebas piloto se debió ajustar el sistema de alimentación del registrador de datos LOGBOX-SE de Kipp&Zonen. Luego de varias mediciones a lo largo del año, se evalúa, dado el alto consumo de pilas como fuente de alimentación del registrador, pasar a conectarlo directamente a la corriente eléctrica. Las pilas poseían una serie de desventajas tales como la dificultad de no tener un control sobre el nivel de energía restante. Esto provoca que una medición se vea interrumpida por falta de energía o bien, que algún instrumento (como el pirgeómetro, de mayor consumo), deje de medir.

Durante el primer periodo de mediciones, se presentó el problema que la antena del registrador se quemó, probablemente por la descarga de un rayo, resultando en que la misma se tuvo que quitar del aparato.

5.1.7. Procesamientos de datos experimentales

De los más de 32 experimentos que se efectuaron con las distintas protecciones se llegó a la siguiente lista de experimentos que cumplían con las condiciones de calidad de los datos. Debido a que se estuvo en un año con lluvias por encima de la climatología y que además cada tres días se tiene un día despejado de acuerdo a la semana tipo de Montevideo, se pudo obtener los siguientes resultados que se sistematizan.

	normal		este		n	orte	noroeste		
protección	n° ensayo	fecha	n° ensayo	fecha	n° ensayo	fecha	n° ensayo	fecha	
			25	2/5/2019	23	1/31/2019			
veneciana (PS1)			27	2/6/2019	30	2/15/2019	26	2/5/2019	
			32	2/20/2019					
chapa trapezoidal (PS3)	33	23/5/2019	31	2/18/2019	29	2/13/2019	24	2/4/2019	
Screen (PS4)	18	1/8/2019	19	1/22/2019	21	1/24/2019	22	1/24/2019	

Figura 24. Tabla de los datos seleccionados

5.1.7.1 Procesamiento de datos PS1 (venecianas)

a. PS1 posición normal

Debido a la imposibilidad de encontrar días de cielo claro, asociado a los problemas que sufrieron los equipos (falta de transmisión y adquisición de datos) esta medición no se pudo efectuar.

b. PS1 orientación norte

Radiación Solar



----- Radiación Incidente (W/m2) --- Radiación Transmitida (W/m2) --- Transmisión solar - TS (%)

Figura 25. Mediciones de radiación solar en PS1

La protección veneciana en la orientación Norte presenta un comportamiento con tendencia estable en la transmisión solar; las mediciones registran un leve aumento a medida que avanza la medición, se registran valores mínimos de 5.15% a las 11:03 hs (altura solar de 55.7º y azimut 56.8°) y valores máximos de 6.3% a las 14:14 (altura solar de 61.9º y azimut 318.0°).

Radiación lumínica

La transmisión lumínica al igual que la transmisión solar presenta una tendencia estable, con un valor promedio de 0.40%. El valor mínimo registrado fue de 0.36% a las 11:24 (altura 59.1° y azimut 49.8°); el máximo 0.57% a las 13:07 (altura 67.6° y azimut 354.7°)



Figura 26- (a) Niveles de radiación lumínica exterior e interior y transmisión lumínica veneciana - orientación norte (b) idem a. con escala de Tl ampliada

Para el tratamiento estadístico de los datos, primeramente se verifica en todos los casos si la radiación interior (pirgeómetro interior), presentan una distribución normal, siempre que el p-valor de ShapiroWilks, es mayor que 0.05 (0.9622 > 0.05) aceptamos la hipótesis nula (H0), por lo que podemos afirmar que nuestros datos se distribuyen siguiendo una normal

Se muestran los datos muy estables para la radiación interior y exterior (figura 27 y figura 28). Se presenta una correlación positiva, de más de 0.985, entre la radiación interior y la exterior. Mientras que la radiación de onda larga, a través del pirgeómetro no responde a la colocación de la protección.

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior	Pirgeómetro
Ν	38	38	38
Min	21,475	417,244	510,333
Max	27,08	482,539	535,333
Sum	929,952	17076,91	19770,67
Mean	2,447,242	4,493,924	5,202,807
Std. Error	255,853	3,045,476	1,029,023
Variance	2,487,509	3,524,472	4,023,776
Stand. Dev	1,577,184	1,877,358	6,343,324
Median	24,679	4,530,915	5,191,665
25 percentil	22,746	4,285,323	5,162,497
75 percentil	258,155	466,431	5,250,835
Skewness	-1,886,425	-3,826,761	5,100,949
Kurtosis	-1,087,665	-1,019,204	-4,322,488
Geom. Mean	2,442,241	4,490,063	5,202,431
Coeff. Var	644,474	4,177,547	1,219,212

Figura 27 Estadística descriptiva de la PS1 norte



Figura 28. Estadística descriptiva, box plot de la PS1 norte

Posteriormente, se correlacionaron los datos entre las mediciones interiores y exteriores para la PS1, el mismo muestra una correlación positiva robusta, entre las mediciones exteriores e interiores, ver figura 29. Es decir que para la protección veneciana ubicada al norte, hay una correlación entre la radiación exterior y la interior.

	Piranómetro	Piranómetro	Dirgo ámotro	
	Interior	Exterior	Pirgeometro	
Piranómetro interior		0.985	0.333	
Piranómetro exterior	0.985		0.387	
Pirgeómetro	0.333	0.389		

Figura 29. Correlación radiación exterior e interior de la PS1 norte

Si ahora analizamos ahora la iluminación, la correlación lineal es positiva, pero no tan robusta como la radiación solar ya que el r es de 0.79, es decir que la iluminación para un 95% de confianza no se puede explicar tan directamente en función de lo que sucede afuera (ver figura 30).

	Piranómetro	Piranómetro	Dirgoómotro	
	Interior	Exterior	Pirgeometro	
Iluminación interior	0.79182	0.7638	0.1793	

Figura 30. Correlación iluminación exterior e interior de la PS1 norte

Radiación total



Figura 31. PS1 norte (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 31 a, se puede observar que durante el periodo de medición la radiación emitida por la protección, registrada mediante el pirgeómetro, presenta un leve aumento a medida que ésta avanza con un rango entre 510.3 W/m² y 577.3 W/m². En relación a la radiación incidente, la radiación emitida registra niveles mayores o en el mismo rango que la incidente; en relación a la radiación transmitida los niveles de radiación emitida son superiores durante toda la medición. Esto se refleja en los valores obtenidos en la transmisión total, es decir la relación entre la radiación solar incidente y la transmitida y emitida sumadas, que presentan durante toda la medición valores superiores al 100%.

c. PS1 orientación este

Para la veneciana en la orientación este, la relación entre la radiación exterior y la medida al interior es variable. Presenta un comportamiento con un pico máximo de 33.19% (7:26 hs), con una altura solar de 14.4º y azimut 99.2°, y un mínimo de 6.58% (10:57 hs) cuando la altura solar es de 56.6 º y el azimut de 62.4, ver figura 32.



Figura 32. Mediciones de radiación en la PS1 al este

Los resultados obtenidos (figura 32) permiten considerar que a una altura de sol más baja se produce la entrada de radiación directa o de reflexión al interior del prototipo, mientras que a medida que el sol aumenta en altura prevalece la radiación difusa.

	Piranómetro	piranómetro
	interior_este	exterior
Ν	321	321
Min	90,797	752,217
Max	280,185	914,577
Sum	53319,41	279447,8
Mean	1,661,041	8,705,539
Std. error	2,243,353	217,475
Variance	1,615,475	1,518,182
Stand. dev	4,019,297	3,896,385
Median	176,178	880,533
25 percentil	139,089	847,433
75 percentil	183,139	9,054,465
Skewness	2,273,099	-930,462
Kurtosis	5,085,881	2,124,574
Geom. mean	1,610,371	8,696,581
Coeff. var	2,419,746	4,475,754

Figura 33. Estadística descriptiva de la PS1 al este

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

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 34 Estadística descriptiva, box plot de la PS1 al este

Los datos son muy poco variables (figuras 33 y 34) debido a que están afectados por la radiación difusa, que tiene mucha incidencia en estas mediciones. Se analizamos ahora la correlación el coeficiente es muy bajo por lo que es muy difícil de predecir su comportamiento, es decir que lo que pasa al interior, no puede explicar lo que sucede al exterior.

	Piranómetro	Piranómetro		
	interior _este	exterior		
Piranómetro interior_este		0.42		
Piranómetro exterior	0.42			

Figura 35. Correlación de la radiación solar exterior y la interior para PS1 al este

A pesar de esta poca variabilidad de los datos no existe una correlación robusta entre la radiación interior y la exterior siendo el r, solamente de 0.42, ver figura 35.

Radiación lumínica

La transmisión lumínica presenta al igual que la transmisión solar picos máximos en el primer periodo de la medición cuando el ángulo de incidencia de los rayos solares es más bajo; el valor máximo registrado es 42.3% a las 7:08 hs (altura 10.8°, azimut 101.7°), y el menor valor 0.70% 11:59 hs (altura 66.5°, azimut 38.5°)- Figura 36.



Figura 36. Mediciones de iluminación exterior e interior de la PS1 al este

Si a estos datos de radiación lumínica, se los trata estadísticamente se observa que según la figura 37, existe una correlación negativa pero relativamente robusta entre estas dos variables.

	Luxómetro interior	Luxómetro exterior
Luxómetro interior		1.70E-13
Luxómetro exterior	-0.80451	



Radiación total



Figura 38. PS1 este (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 38, se observa que la radiación emitida por la protección solar va en ascenso a medida que avanza la medición, con niveles entre 448.3 W/m², sobre el inicio de la medición, y 593.3 W/m², sobre el final. Se identifica que los niveles de radiación emitida no mantienen relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual describe una curva en ascenso hasta las 8.20hs, con un valor máximo 914.6 W/m² y luego decrece alcanzando valores por debajo de la radiación emitida a partir de las 11.20hs; en cuanto a la radiación transmitida registra niveles inferiores a la anteriores durante toda la medición, con un descenso hacia desde las 9.00hs. La gráfica de transmisión total refleja las variaciones de la radiación transmitida y emitida durante la medición, lo que genera un aumento notorio, superando el 100% hacia el final de la medición.

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

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

PS1 orientación noroeste

Radiación Solar



Figura 39. Mediciones de radiación en la PS1 al noroeste

La veneciana con orientación Noroeste (Figura 39) presenta una transmisión solar variable con un mínimo de 5.4% (14:04 hs) altura solar de 66° y azimut 318.3° y un máximo de 15.12% (18:30 hs) con una altura solar de 14.8° y azimut 260.8°.

Al igual que el comportamiento de la veneciana al este los mayores niveles de transmisión solar se registran cuando la altura solar es más baja.



Radiación lumínica

Figura 40. Mediciones de radiación lumínica en la PS1 al noroeste

La transmitancia lumínica en orientación noroeste para la veneciana registra valores mínimos al inicio de la medición 0.29% (13:00 hs) altura de 71.0° y azimut 359.0°, y valores máximos 4.90% (18:30 hs) sobre el final con una altura de 14.8° y azimut 260.8°, según Figura 40.

Al igual que muestran los datos registrados, las estadísticas descriptivas desarrolladas en las figuras 41 y 42, se presentan gran variabilidad de los datos.

	Piranómetro interior Venecina_nw	Piranómetro exterior Veneciana_nw	Pirgeómetro	Luxómetro Interior
Ν	481	481	481	481
Min	22,793	346,417	516	412
Max	80,157	710,849	572,333	2646
Sum	21788,57	290787,4	262421,3	601348
Mean	4,529,847	6,045,476	5,455,745	1,250,204
Std. error	8,305,721	5,027,668	4,924,253	3,273,416
Variance	3,318,179	12158,45	1,166,342	515403,6
Stand. dev	1,821,587	1,102,654	1,079,973	7,179,161
Median	40,85	649,164	545,667	1028
25 percentil	28,411	5,230,555	537,333	587
75 percentil	615,095	7,007,575	5,538,335	1883
Skewness	4,565,638	-8,358,962	-1,533,579	5,257,148
Kurtosis	-1,190,869	-6,310,082	-4,692,334	-1,174,257
Geom. mean	4,176,562	5,930,741	5,454,676	1,050,615
Coeff. var	4,021,299	1,823,932	1,979,515	5,742,393

Figura 41 Estadística descriptiva de la PS1 al noroeste



Figura 42 .Estadística descriptiva, box plot de la PS1 al noroeste

Si se correlaciona los datos de radiación interior y exterior, la correlación es positiva además de observar que presenta una r de 0.84, siendo la misma robusta (figura 43).
```
Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR
Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR
```

	piranómetro interior venecina_nw	piranómetro exterior veneciana_nw
piranómetro interior venecina_nw		0.847
piranómetro exterior veneciana_nw	0.847	

Figura 43. Correlación de la radiación solar de la PS1 al noroeste

	Iluminación	Iluminación
	interior	exterior
Iluminación interior		6.42E-282
Iluminación exterior	-0.93194	

Figura 44. Correlación de la radiación lumínica de la PS1 al noroeste

Como muestra la estadística de correlación lumínica, muestra que existe una correlación negativa pero robusta entre lo que pasa afuera y adentro del modelo, ver figura 44.

Radiación total



Figura 45. PS1 noroeste (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 45 a, se observa que la radiación emitida por la protección solar va en descenso a medida que avanza la medición, desde 572,3 W/m² al inicio a 482 W/m² al finalizar. Se identifica que los niveles de radiación emitida no mantienen relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual inicia la medición con niveles inferiores a la radiación emitida por la protección y describe una curva en ascenso hasta alcanzar los 710.8W/m² las 16.15hs para luego descender, hasta igualar la radiación emitida al final de la medición. En relación a la radiación transmitida se mantiene durante la medición en un rango superior. La gráfica de transmisión total refleja las variaciones de la radiación transmitida y emitida durante la medición, al inicio presenta valores del 160% que van disminuyendo a medida que la radiación solar incidente supera los niveles de la radiación emitida, sobre el final de la medición la transmisión total vuelve a aumentar producto de que la diferencia entre los valores de radiación incidente y emitida van disminuyendo y la radiación transmitida presenta un aumento.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

5.1.7.2 Procesamiento de datos PS3 (chapa perforada trapezoidal)

a. PS3 posición normal

Radiación Solar



Figura 46- Niveles de radiación solar exterior e interior y transmisión solar chapa perforada trapezoidal - posición normal

La figura 46 presenta los resultados obtenidos para la medición de la protección solar "chapa perforada trapezoidal" en condición normal y considerando una desviación de hasta 5° a la radiación solar incidente, con eje en el mediodía solar (12:41 hs). Se identifica un comportamiento fluctuante de la radiación interior, con picos y valles, que se refleja en valores de transmisión solar que oscilan entre el 15.1% y el 24.2%.

Los resultados de esta medición, permiten estimar que las fuertes variaciones en la transmisión solar de esta protección están condicionadas por su geometría, que altera continuamente el pasaje de radiación solar directa. Aun con un movimiento relativo del sol muy acotado como el que se produce en un transcurso de 7 minutos, la transmisión solar puede variar en un 8.9% al considerar un pico -12:31 hs, 24.2%- y un valle -12:38 hs, 15.3%-, lo que evidencia una gran influencia geométrica.

Radiación lumínica

No se registraron datos válidos de iluminancia, por lo que no se pueden considerar estos datos.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior	Pirgeómetro
	Ps3_norm	Ps3_norm	Ps3_norm
Ν	124	124	124
Min	158,041	1027,06	422,333
Max	252,441	1046,21	455
Sum	24319,93	128868,7	54740,67
Mean	196,1285	1039,264	441,457
Std. error	2,427283	0,4967535	0,6644717
Variance	730,5709	30,59875	54,74881
Stand. dev	27,02908	5,531613	7,399244
Median	195,257	1041,73	442,1665
25 percentil	170,6093	1034,703	436,4165
75 percentil	214,6288	1043,46	447,333
Skewness	0,3674064	-0,7584638	-0,3850907
Kurtosis	-0,9231898	-0,8351866	-0,3387862
Geom. mean	194,3174	1039,249	441,3952
Coeff. var	13,78131	0,5322625	1,676096

Figura 47. Estadística descriptiva de la PS3 incidencia normal

En la estadística descriptiva, se muestra figuras 47 y 48, la variable de radiación solar exterior es muy estable, en cambio la interior si bien es estable, tiene mayor variabilidad.



Figura 48. Estadística box chart de la PS3 incidencia normal

Si correlacionamos los datos de la radiación interior y exterior la misma es muy poco robusta debido a la características intrínsecas que detallamos anteriormente (Figura 49). También se correlacionaron temperaturas y radiación y no se puede mostrar ningún dato robusto de correlación, excepto la temperatura interior y la exterior.

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior		
	Ps3_norm	Ps3_norm		
Piranómetro interior		0 5 40 10		
Ps3_norm		0,54919		
Piranómetro exterior	0.05.42			
Ps3_norm	0,0543			

Figura 49. Correlación de la radiación interior y exterior PS3 incidencia normal

Radiación total

En la figura 50a, se observa que la radiación emitida por la protección solar se mantiene oscilando entre los 422 W/m² y los 455 W/m² durante toda la medición. Estos valores son menores a la radiación incidente y superiores a la radiación transmitida. La transmisión total, Figura 50b, como consecuencia se encuentra entre los 56.8% y 66.9%.



Figura 50. PS3 posición normal (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

b. PS3 orientación norte

Radiación solar

Para la orientación Norte, Figura 51, el porcentaje de radiación que pasa a través de la protección mantiene un comportamiento fluctuante. Los valores máximos alcanzan el 14.7% a las 11:29 hs (altura solar 60.4°, azimut 48.8°), y los mínimos 3.4% a las 11:45 hs (altura solar 42.3°, azimut 62.7°), solo 16 minutos después. Se observa que estos valores no coinciden con los valores máximos y mínimos de la radiación solar incidente.

Los resultados obtenidos para la chapa perforada trapezoidal indican una simetría desfasada del eje del mediodía solar, corresponde aclarar que los instrumentos de medición quedaron levemente desfasados con respecto al patrón simétrico de la protección solar.



----- Radiación Incidente (W/m2) --- Radiación Transmitida (W/m2) --- Transmisión solar - Ts (%)

	Piranómetro	Piranómetro	Pirgeómetro	Temperatura del
	interior	exterior	al interior	aire interior C
Ν	421	421	421	421
Min	14.912	393.262	454	24.5
Max	63.603	470.759	507.333	25.3
Sum	16756.61	187312.5	203557.3	10560.5
Mean	39.80192	444.9227	483.5091	25.08432
Std. error	0.5510074	1.038435	0.4580935	0.0148164
Variance	127.8194	453.9838	88.3467	0.09242031
Stand. dev	11.30573	21.3069	9.399293	0.3040071
Median	39.369	450.567	485.333	25.3
25 percentil	33.133	428.7445	478	24.9
75 percentil	46.5985	463.885	490	25.3
Skewness	-0.1083036	-0.6208696	-0.6161529	-0.9949219
Kurtosis	-0.2182587	-0.832748	0.2719926	-0.5571113
Geom. mean	37.95838	444.4027	483.4172	25.08247
Coeff. var	28.40497	4.788898	1.943974	1.211941

Figura 51- Niveles de radiación solar exterior e interior y transmisión solar chapa perforada trapezoidal - orientación norte

Figura 52- Análisis estadístico. Chapa perforada trapezoidal - posición orientación Norte

	Piranómetro interior PS3_N	Piranómetro exterior PS3_N	Pirgeómetr o PS3_N	Luxómetro interior PS3_N	Luxómetro exterior PS3_N
PS3_N_piranómetro interior		2.10E-01	0.22	0.255	2.75E-09
PS3_N_piranómetro exterior	0.20573		0	7.56E-57	2.52E-20
PS3_N_pirgeómetro	0.59699	0.47256		0.24503	1.65E-16
PS3_N_luxint	-0.55568	-0.69023	-0.10961		0.269
PS3_N_luxext	0.34605	0.46821	0.43139	0.54456	

Figura 53- Análisis estadístico de correlaciones para las variables analizadas en chapa perforada trapezoidal - posición orientación Norte

Cuando se analiza la relación entre la radiación interior y la exterior, Figura 53, se observa que el coeficiente de correlación para la chapa perforada trapezoidal colocada al norte es de 0.2; por lo tanto no existe una relación. Posteriormente, si se discute la relación entre el pirgeómetro (radiación de onda larga) y el piranómetro exterior, ahí la relación mejora a r= 0.47; siendo igual no determinante ni robusta. También se analizan las correlaciones de las demás variables, no existiendo ninguna correlación robusta, siendo la máxima una correlación negativa de 0.69.

Radiación lumínica





La transmitancia lumínica para la chapa perforada trapezoidal en orientación norte presenta valores entre un 0.94%, registrado a las 13:03 hs (altura 68.4°, azimut 357.2°) y un 6.54% a las 14:30 hs (altura 60.2°, azimut 310.8°), Figura 54.



Radiación total

Figura 55. PS3 norte (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la Figura 55 a, se puede observar que durante el periodo de medición la radiación emitida por la protección registra valores levemente superiores a la radiación incidente, la radiación emitida con valores entre 454,0 W/m² y 507.3W/m² y la incidente entre 393.3W/m² y 470.8W/m². En relación a la radiación transmitida, la radiación emitida presenta niveles superiores durante todo el periodo. En la figura 55 (b) transmisión total se observa, como consecuencia de la relación entre las diferentes

radiaciones, que la transmisión total se encuentra superando el 100% con registros entre 108.8% y 132.2%.

c. PS3 orientación este

Radiación solar

La transmisión solar de la chapa perforada en orientación este se muestra en la Figura 56. Se observa que repite las características de fluctuación que se registraron en la medición normal y en orientación norte. A partir de las 11:20 hs las fluctuaciones disminuyen, tendiendo a un comportamiento lineal.

Además de estas fluctuaciones, la tendencia general de la curva de transmisión solar muestra una disminución en los porcentajes a medida que avanza la medición. El mayor nivel del 25.0 %, se registra al comienzo de la medición 7:05 hs (altura solar de 8.1° y azimut 98.7°), y el menor, 6.6%, a las 12:00 hs (altura solar de 63.2° y un azimut 33.2°).



····· Radiación Incidente (W/m2) --- Radiación Transmitida (W/m2) --- Transmisión solar - TS (%)



Los datos de radiación interior a partir de la colocación de la protección PS3, ubicada al este y hasta las 12 hs, presenta un comportamiento en referencia a la exterior que es más estable (ver figura 56).

Los datos de radiación interior (pirgeómetro interior), presentan una distribución normal, porque el pvalor de ShapiroWilks, es mayor que 0.05 (0.9622 > 0.05) aceptamos la hipótesis nula (H0), por lo que podemos afirmar que nuestros datos se distribuyen siguiendo una normal. Los datos del piranómetro interior tienen un comportamiento mucho más homogéneo y estable que el piranómetro exterior. Este comportamiento de los datos del piranómetro exterior se debe a la variación intrínseca de la radiación por el movimiento del sol. La relación entre los niveles del piranómetro interior y el piranómetro exterior tienen una relación lineal entre los 300W/m2 (menor registro de la medición) y los 450W/m2 de los valores del piranómetro exterior, a partir de la cual la relación se dispersa.

El horario solar que corresponde a la dispersión de los datos es entre las 11:30 (azimut 57°, altitud 59.2°) y las 12:00 hora en que el sol se tiene mayor altura y azimut más hacia el norte. Para todo el rango de datos (desde las 7.00 a las 12.00 hs), existe una correlación positiva entre el piranómetro interior y el exterior, teniendo un estadístico de R=0.86. Existe por lo tanto, una correlación en función del valor p de pearson que es positiva entre los valores interiores y exteriores, siendo esa correlación es más robusta (R=0.98) en el periodo entre las 11:30 (azimut 57°, altitud 59.2°) y las 12:00 hora. Se observa una curva característica entre las 7:00 y las 11:30 de R=0.78.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 57- Boxplot de los datos de radiación para la PS3 para la orientación este.

	Piranómetro interior PS3_E	Piranómetro exterior PS3_E	Pirgeómetro PS3_E	iluminación interior PS3_E	lluminación exterior PS3_E
N	601	601	601	601	601
Min	19,761	300,193	446,667	725	13357
Max	192,691	911,243	541,667	10266	120975
Sum	68160,68	437489,9	301964,3	3771381	4,61E+07
Mean	113,4121	727,9366	502,4365	6275,176	76712,52
Std. error	1,81135	7,177262	0,9471605	115,2582	1311,501
Variance	1971,873	30959,37	539,1649	7983952	1,03E+09
Stand. dev	44,40578	175,9527	23,21992	2825,589	32151,84
Median	122,275	784,915	508,333	6920	82271
25 percentil	83,375	618,0895	484,1665	3841	50018
75 percentil	145,0065	880,805	521,333	8970	105493
Skewness	-0,3851517	-0,8657136	-0,4901818	-0,4241903	-0,3768566
Kurtosis	-0,704868	-0,4379286	-0,7728854	-1,256853	-1,107633
Geom. mean	101,5517	701,7143	501,8917	5367,469	67628,22
Coeff. var	39,15435	24,17144	4,621465	45,02804	41,91212

Figura 58. Estadísticas descriptivas para PS3 orientación este

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

	piranómetro	piranómetro		Iluminación	Iluminación
	interior	exterior	Pirgeómetro	exterior	exterior
	PS3_E	PS3_E	PS3_E	PS3_E	PS3_E
PS3_E piranómetro					
interior		1,99E-183	2,31E-81	8,62E-113	5,72E-139
PS3_E piranómetro					
exterior	0,86709		1,39E-48	9,54E-66	1,51E-86
PS3_E pirgeómetro	-0,67568	-0,54887		3,58E-278	5,10E-271
PS3_E ilumint	-0,75699	-0,62241	0,93818		0
PS3_E ilumext	-0,80672	-0,69119	0,93457	0,97805	

Figura 59. Tabla y procesamiento de datos medidos en chapa recta, al Este

La Figura 59, muestra varias correlaciones robustas; entre los valores del pirgeómetro interior y el exterior cuyo r= 0.86 es decir positiva. De todos los valores, la correlación positiva más robusta es de 0,98 entre los valores de iluminación interior y la exterior.

160000 50% 45% 140000 40% 120000 luminancia (LUX) 35% 100000 30% (%) 80000 25% Ē 20% 60000 15% 40000 10% 20000 5% 0% 0 8:40 00:6 0:00 10:40 11:00 11:40 7:00 7:20 7:40 8:00 8:20 9:20 9:40 0:20 11:20 12:00 ---- Iluminancia Exterior (Lux) --- Iluminancia Interior (Lux) --- Transmisión luminínica - Tl (%)

Iluminación natural

Figura 60. Niveles de radiación lumínica exterior e interior y transmisión lumínica chapa perforada trapezoidal - orientación este

La transmitancia lumínica para la chapa perforada trapezoidal en orientación este presenta valores entre un 5.4%, registrado a las 7:00 hs (altura solar 7.1°, azimut 99.4°) y un 9.80% a las 10:07 hs (azimut 82°, altura 43.4°), Figura 60.

> Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

Radiación total





En la figura 61a, se observa que la radiación emitida por la protección solar va en ascenso a medida que avanza la medición, con niveles que van desde 446.7W/m² al inicio, a 541.7W/m² al final de la misma. Se identifica que los niveles de radiación emitida no mantienen relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual inicia la medición con niveles superiores a la radiación emitida por la protección y describe una curva en ascenso hasta las 8:27 hs para luego descender a niveles inferiores que la radiación emitida a partir de las 11:10 hs. En relación a la radiación transmitida, la radiación emitida presenta niveles superiores durante todo el periodo. La Figura 61b presenta la transmisión total a través de la protección, la misma refleja las variaciones en la relación entre la radiación incidente, transmitida y emitida durante la medición, se observa que la transmisión total presenta al inicio valores de 88.7% que disminuyen hasta el 66.9% cuando la radiación incidente alcanza su valor máximo; en la medida que ésta disminuye y la componente transmitida sumada a la emitida superan la incidente se produce un aumento hacia el final de la medición alcanzando 182.1%.

d. PS3 orientación noroeste



Radiación solar

Figura 62. Niveles de radiación solar exterior e interior y transmisión solar chapa perforada trapezoidal - orientación Noroeste

En la orientación noroeste, Figura 62, al igual que en las anteriores estudiadas se observa la misma característica de fluctuación en la radiación que ingresa a través de la protección.

En esta orientación, podemos ver que a pesar de la fluctuación hay una coincidencia entre los niveles máximos y mínimos de radiación exterior e interior; registrándose la mayor transmisión solar de 21.8% a las 16:20 hs (altura solar 41.4°, azimut de 279.4°) y la menor 4.0% a las 13:00 hs (altura solar 71.2°, azimut 353.7°)

	Piranómetro interior PS3_NO	Piranómetro exterior PS3_NO	Pirgeómetro PS3_NO	Luxómetro interior PS3·_NO	Luxómetro exterior PS3_NO
N	581	581	581	581	581
Min	26,414	401,681	477,333	1267	1854
Max	152,293	700,822	544,667	9200	138929
Sum	48669,32	359170,9	300068	3789549	6,19E+07
Mean	83,76819	618,1943	516,4681	6412,096	104785,9
Std. error	1,213205	3,305417	0,5873727	104,0588	1226,497
Variance	855,1547	6347,881	200,4489	6399489	8,89E+08
Stand. dev	29,24303	79,67359	14,158	2529,721	29816,75
Median	82,42	643,534	519	7564	111944
25 percentil	60,0105	574,1445	508	4365	83669
75 percentil	102,866	685,69	526,667	8465	130866
Skewness	0,276242	-1,019774	-0,7210039	-0,7483747	-0,9216517
Kurtosis	-0,428443	0,07355152	0,02986893	-0,9723683	0,4508062
Geom. mean	78,31407	612,4819	516,2717	5689,096	97306,89
Coeff. var	34,90947	12,88811	2,741311	39,45233	28,45493

Figura 63. Estadísticas descriptiva de radiación solar exterior e interior y transmisión solar chapa perforada trapezoidal - orientación Noroeste



Figura 64- Boxplot radiación solar exterior e interior y transmisión solar chapa perforada trapezoidal - orientación Noroeste

Tanto la estadística descriptiva de la Figura 63 como la de 64, muestra la gran variabilidad de la radiación luminosa exterior.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

	Piranómetro interior PS3_NO	Piranómetro exterior PS3_NO	Pirgeómetro PS3_NO	Luxómetro interior PS3·_NO	Luxómetro exterior PS3_NO
PS3_NO piranómetro interior		2,92E-149	0,044359	5,98E-133	1,19E-29
PS3_NO piranómetro exterior	0,83049		3,74E-05	3,07E-312	3,26E-28
PS3_NO pirgeómetro	0,083451	0,17016		2,41E-05	8,12E-80
PS3·_NO_luxint	0,80422	0,9566	0,17423		5,13E-11
PS3_NO_luxext	-0,44533	-0,43495	0,6792	-0,26582	

Figura 65. Correlaciones entre los distintos datos para PS3, noroeste

Pero si analizamos la estadística de correlaciones, existe una correlación positiva entre el piranómetro interior y los datos de iluminación interior, al igual que con los datos de radiación exterior, figura 65.

Radiación lumínica



Figura 66. Datos de radiación lumínica para PS3, noroeste

La transmisión lumínica para la chapa perforada trapezoidal en orientación NOROESTE presenta valores entre un 0.92%, registrado a las 13:30 hs (azimut 337.4°, altitud 70.0°) y un 11.05% a las 18:24 hs (altura 16.1°, azimut 261.3 °).



Figura 67- PS3 noroeste (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total En la Figura 67a, se observa que la radiación emitida por la protección solar presenta un leve descenso a medida que avanza la medición, con un rango entre los 545.7 W/m² y los 474.0 W/m². Se identifica que los niveles de radiación emitida no guardan relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual inicia la medición con niveles inferiores a la radiación emitida por la protección y describe una curva en ascenso hasta alcanzar los 700.8W/m² las 16.27hs para luego descender, hasta igualar la radiación emitida al final de la medición. En relación a la radiación transmitida se mantiene durante la medición en un rango superior. La gráfica de transmisión total (Figura 67b) refleja las variaciones de la radiación transmitida y emitida durante la medición, al inicio de la presenta valores de 160% que van disminuyendo a medida que la radiación solar incidente supera los niveles de la radiación emitida, sobre el final de la medición la transmisión total vuelve a aumentar producto de que la diferencia entre los valores de radiación incidente y emitida van disminuyendo y la radiación transmitida presenta un aumento.

5.1.7.3. Procesamiento de datos PS4 (tela screen)



Figura 68- Niveles de radiación solar exterior e interior y transmisión solar para la PS4, en posición normal

En la figura 68, se observa el comportamiento de la protección solar "tela *screen*" frente a la radiación solar para la medición en condición normal a la radiación directa incidente. La medición se realizó abarcando un ángulo de 5° con eje en el mediodía solar (12:51 hs), se observa un comportamiento uniforme con un promedio de transmisión solar de 21,5%.

Si analizamos las estadísticas descriptivas a través de la figura 69 y 70, se puede observar la gran estabilidad de los datos para la PS4, en posición normal.

Pero si ahora analizamos la variación de una variable en función de la otra, no existen correlaciones robustas en este aspecto, tal como lo muestra la figura 71.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

	Piranómetro interior PS4_normal	Piranómetro exterior PS4_normal	Pirgeómetro PS4_normal	Luxómetro interior PS4_normal	Luxómetro exterior PS4_normal
N	61	61	61	48	48
Min	232,466	1084,238	476,333	16646	137961
Max	240,369	1117,051	501	16967	140111
Sum	14377,71	66988,66	29786	807472	6676967
Mean	235,7001	1098,175	488,2951	16822,33	139103,5
Std. error	0,1750145	0,6044305	0,6420367	9,476236	60,78473
Variance	1,868435	22,28551	25,14488	4310,355	177349,6
Stand. dev	1,366907	4,720753	5,014467	65,65329	421,129
Median	235,286	1097,845	488,333	16811	139144
25 percentil	234,803	1096,582	484	16793	138821
75 percentil	236,5875	1099,772	491,1665	16866	139359
Skewness	0,9399663	0,9443306	0,3678586	-0,495465	0,0295511
Kurtosis	1,536645	4,813674	0,08964808	0,9333974	0,7913722
Geom. mean	235,6962	1098,165	488,2698	16822,21	139102,9
Coeff. var	0,5799349	0,4298727	1,026934	0,3902746	0,3027451

Figura 69- Estadísticas descriptivas para la PS4, en posición normal



Figura 70- Box plot para la PS4, en posición normal

	Piranómetro interior Ps4_normal	Piranómetro exterior Ps4_normal	Pirgeómetro Ps4_normal	Luxómetro interior ps4_normal	Luxómetro exterior Ps4_normal
PS4_piranómetro interior normal		2,20E-09	0,80521	0,29615	0,86277
PS4_piranómetro exterior normal	0,67633		0,36732	0,23013	0,55902
PS4_pirgeómetro	0,032233	-0,11746		0,52441	0,97292
Ps4_luxometro interior normal	-0,15395	-0,1765	-0,094156		4,23E-09
Ps4_luxómetro exterior normal	0,025619	-0,086457	0,0050322	0,72896	

Figura 71- Correlaciones de datos para la PS4, en posición normal

Radiación lumínica



Figura 72. Datos de radiación lumínica para la PS4, en posición normal

La transmisión solar para la tela *screen* en condición normal mantiene un comportamiento uniforme con un valor promedio de 12.1%, ver figura 72.



Figura 73. PS4 posición normal (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 73a, se observa que la radiación emitida por la protección solar se mantiene en valores entre 476.3 W/m^2 y los 501.0 W/m^2 durante toda la medición. Estos valores son menores a la radiación incidente y superiores a la radiación transmitida. La gráfica de transmisión total, Figura 73b, como consecuencia, presenta valores entre el 64.8% y 67.4%.

b. PS4 orientación norte

Radiación solar



---- Radiación Incidente (W/m2) --- Radiación Transmitida (W/m2) --- Transmisión solar - TS (%)

Figura 74. Datos de radiación solar para la PS4, en posición norte

Para la orientación norte de la PS4, Figura 74, los porcentajes de transmisión solar van aumentando desde un 14.3% al inicio (11:00 hs) con una altura solar de 59.8° y azimut 66.3°, hasta alcanzar al mediodía solar (12:56 hs) el 16.8% con una altura solar de 74.3° y azimut 0.2°. Luego se mantiene con oscilaciones mínimas sobre ese valor hasta finalizar la medición (14:30 hs, altura solar de 64.1° y azimut 301.3°). 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 -radiación incidente - 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 de la caja tiene una desviación con respecto al norte solar o que la posición de los instrumentos presenta una pequeña inclinación respecto a la protección solar. Esto provoca que la transmitancia solar no sea simétrica. Deberían realizarse nuevas mediciones para rectificar la posición de los instrumentos y descartar la posible influencia de reflexiones exteriores en la medición.



Iluminación natural

Figura 75- (a) Niveles de radiación lumínica exterior e interior y transmisión lumínica Tela screen - orientación norte (b) idem a. con escala de Tl ampliada

La transmisión lumínica para la tela screen con orientación norte presenta valores entre un 0.90% (11:00 hs, altura solar 60.9°, azimut 64.5°), y un 1.50% (12:41. altura solar 73.9°, azimut 13.5°), ver figura 75..

A continuación se analiza estadísticamente la protección *screen* ubicada al norte, en este caso los datos son muy homogéneos variando muy poco, tal como lo muestra el poleo de datos.

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior	Pirgeómetro al interior
N	241	241	241
Min	40,353	285,545	457,333
Max	59,161	346,872	506
Sum	12378,28	79190,44	115419,7
Mean	5,136,214	328,591	4,809,153
Std. error	3,545,146	117,477	6,113,968
Variance	3,028,903	3,326,002	8,971,344
Stand. dev	5,503,547	1,823,733	9,471,718
Median	52,468	335,744	4,798,335
25 percentil	46,5	315,511	474,333
75 percentil	56,446	344,8	487,333
Skewness	-3,818,828	-8,130,708	4,521,041
Kurtosis	-1,153,321	-6,359,022	-4,101,929
Geom. mean	5,105,807	3,280,705	4,808,229
Coeff. var	1,071,518	5,550,161	1,969,519





Figura 77. Box plot de los datos registrados para la PS4, al norte

En la figura 76 y 77, se muestra la homogeneidad de los datos, posteriormente si se relaciona la radiación exterior y la interior el coeficiente de correlación es significativo siendo de 0.97, por lo que la radiación exterior explica lo que pasa al interior para la PS4 en orientación norte, Figura 78.

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior
Piranómetro interior		0,97495
Piranómetro exterior	0,97495	

Figura 78. Correlación de los datos registrados para la PS4, al norte

Radiación total





En la figura 79a, se observa que la radiación emitida por la protección solar presenta niveles superiores a la radiación incidente y a la radiación transmitida durante todo el periodo de medición, con un valores entre los 457.3 W/m² y 507.3 W/m². La transmisión total, Figura 79b, presenta niveles entre 152.0% y 192.2% durante toda la medición como consecuencia de que la radiación emitida por la protección supera a la radiación incidente.

c. PS4 orientación este

Radiación Solar





Para la tela *screen* en la orientación este, la relación entre la radiación exterior y la medida al interior es variable. Esta relación tiende a disminuir a medida que avanza la medición, variando entre 21.2% al inicio (7:09 hs), con una altura solar de 13.7º y azimut 104.7°, y un 14.3% al finalizar (11:53 hs) cuando la altura solar es de 69.3º y el azimut de 46.6°.

Primeramente se estudió estadísticamente los datos, mostrando que los datos tienen relativamente poca dispersión, figura 81 y 82.

	Piranómetro	Piranómetro	Pirgeómetro	
	interior	exterior	Pirgeometro	
Ν	517	517	517	
Min	73,911	478,16	449,667	
Max	182,27	886,491	542,333	
Sum	76462,59	393842,7	254511	
Mean	1,478,967	7,617,846	4,922,844	
Std. error	1,474,874	5,342,731	1,060,451	
Variance	1,124,606	14757,65	5,813,961	
Stand. dev	3,353,514	1,214,811	2,411,216	
Median	161,885	803,087	493,667	
25 percentil	1,232,555	6,835,325	470,667	
75 percentil	1,767,875	861,758	5,131,665	
Skewness	-8,186,665	-928,118	-3,465,858	
Kurtosis	-7,046,446	-3,855,628	-1,175,332	
Geom. mean	1,433,778	7,508,275	4,916,934	
Coeff. var	2,267,471	159,469	4,898,014	

Figura 81. Estadística descriptiva de la PS4, este



Figura 82. Boxplot de la PS4, este

Los datos muestran que existe una correlación positiva robusta del 0.989 de entre las mediciones del piranómetro interior y del piranómetro exterior. La protección estudiada, tela *screen*, es una protección que no cuenta con fuertes condicionantes geométricas, ya que es homogénea, podemos observar que a medida que varía su posición relativa con respecto al sol, varía el porcentaje de radiación que ésta permite ingresar al interior del dispositivo.

	Piranómetro interior	Piranómetro exterior
Piranómetro interior		0.989
Piranómetro Exterior	0.989	

Figura 83. Correlación de la PS4, este

Radiación lumínica



Figura 84. Datos de radiación lumínica de la PS4, este

La transmisión lumínica para la tela screen en orientación este, Figura 84, presenta valores entre un 1.24%, registrado a las 11:47 hs (altura solar 68.4°, azimut 49.5°) y un 12.4% a las 7:05 hs (altura solar 12.9°, azimut 105.2 °).

El comportamiento es inverso a los niveles de iluminación registrados al exterior. Al inicio de la medición los niveles exteriores son los más bajos (27548 lux) y la transmitancia lumínica es la mayor (12.4%) mientras que al final de la medición los niveles de iluminación son los más altos (142369 lux) y la transmitancia lumínica menor (1.24%).

Estos resultados permiten independizar la transmitancia solar de los niveles de iluminación incidente.



(a)

Radiación total

Figura 85. PS4 este (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 85a, se observa que la radiación emitida por la protección solar va en ascenso a medida que avanza la medición, con niveles que van desde 449.7W/m² al inicio, a 546.7W/m² al final de la misma. Se identifica que los niveles de radiación emitida no mantienen relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual inicia la medición con niveles superiores a la radiación emitida por la protección y describe una curva en ascenso hasta las 8:21 hs para luego descender a niveles inferiores que la radiación emitida a partir de las 11:02 hs. En relación a la radiación transmitida, la radiación emitida presenta niveles superiores durante todo el periodo. La Figura 85b se presenta la transmisión total a través de la protección, la misma refleja las variaciones en la relación entre la radiación incidente, transmitida y emitida durante la medición, se observa que la transmisión total presenta al inicio valores de 88.3% que disminuyen hasta el 73.2% cuando la radiación incidente alcanza su valor máximo; en la medida que ésta disminuye y la componente transmitida sumada a la emitida superan la incidente se produce un aumento hacia el final de la medición alcanzando 175.7%.

d. PS4 orientación noroeste

Radiación Solar



Figura 86. Datos de radiación recibida por la PS4 al noroeste

En la orientación noroeste, se puede observar un comportamiento más estable, figura 86, en la transmisión solar, con variaciones durante toda la medición entre el 16.0% y el 18.3%. La posición del sol al inicio de la medición (15:00 hs) se corresponde con una altura solar de 58.6º y azimut 296.3° y al finalizar la medición (18:30 hs) la altura solar desciende a 16.2º con un azimut de 257.6°.



Radiación Lumínica

Figura 87. Datos de radiación lumínica recibida por la PS4 al noroeste

La transmisión lumínica, figura 87, para la tela *screen* en orientación noreste presenta valores entre un 2.5%, al inicio de la medición 15:04 hs (altura solar 57.8°, azimut 290.9°) y valor máximo de 5.2 % sobre el final de la medición a las 18:26 (altura solar 17°, azimut 258.2°). Al igual que para la orientación Este los niveles de transmisión lumínica son mínimos (2.5 %) cuando la iluminancia incidente es mayor (120759.6 lux) y máximos (5.2 %) cuando la los niveles de iluminancia incidente son menores (44427.5 lux)

	Piranómetro Interior	Piranómetro exterior	Pirgeómetro	Luxómetro Interior	Hobo Interior
N	421	421	421	421	421
Min	70,053	417,143	460	2187	30,4
Max	116,007	632,842	515,333	4154	32,4
Sum	42829,82	244640,6	205609,7	1360296	13256,4
Mean	1,017,335	5,810,941	488,384	3,231,107	3,148,789
Std. Error	5,177,469	2,728,051	5,682,621	1,881,665	2,111,958
Variance	112,854	3,133,193	1,359,501	149061,9	1,877,815
Stand. Dev	1,062,328	5,597,494	1,165,976	3,860,854	4,333,376
Median	105,45	601,878	488,333	3299	31,6
25 percentil	981,565	560,544	479,667	3023	31,2
75 percentil	109,134	623,076	497,5	3496,5	32
Skewness	-1,304,748	-1,346,848	1,849,125	-6,604,016	-4,972,046
Kurtosis	7,972,861	7,964,743	-7,614,864	7,584,746	203,008
Geom. Mean	1,011,179	5,781,232	4,882,451	3,206,394	314,849
Coeff. Var	1,044,226	9,632,681	2,387,417	1,194,901	1,376,204

Figura 88. Datos estadísticos de radiación recibida por la PS4 al noroeste

Los datos muestran poca variabilidad, Figura 88 y Figura 90, si efectuamos las correlaciones observamos que existe una correlación positiva entre el piranómetro interior y el exterior. al igual que con la iluminación interior y ambos piranómetros (Figura 89).

	Piranómetro	Piranómetro	Diago é as otras	Luxómetro	Hobo
	Interior	Exterior	Pirgeometro	Interior	Interior
Piranómetro interior		0.974	0.693	0.908	0.778
Piranómetro exterior	0.974		0.681	0.932	0.795
Pirgeómetro	0.693	0.681		0.624	0.586
Luxómetro interior	0.908	0.932	0.624		0.745
Hobo interior	0.778	0.795	0.586	0.745	

Figura 89. Correlación de datos recibida por la PS4 al noroeste

> Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 90. Box plot de datos recibida por la PS4 al noroeste



Figura 91. PS4 noreste (a) Mediciones de radiación solar incidente, transmitida y emitida por la protección. (b) Transmisión solar y total

En la figura 91a, se observa que la radiación emitida por la protección solar presenta un comportamiento con tendencia lineal levemente descendente a medida que avanza la medición, con niveles entre 515.3W/m² y 460.0W/m². Se identifica que los niveles de radiación emitida no guardan relación con los niveles registrados de radiación incidente, la cual inicia la medición con niveles superiores a la radiación emitida por la protección y describe una curva en ascenso hasta alcanzar los 632.8W/m², a las 16.13hs, para luego descender hasta niveles inferiores a la radiación emitida a partir de las 18:12 hs. En relación a la radiación transmitida se mantiene durante la medición ransmitida y emitida durante la medición, al inicio presenta valores de 106.7% que van disminuyendo a medida que la radiación solar incidente se va incrementando, alcanzando el valor mínimo de 93.1%, sobre el final de la medición la transmisión total vuelve a aumentar reflejando la disminución de los niveles de radiación incidente, alcanzando al final el 128.0%.

A continuación se presenta a modo de resumen, la Figura 92, 93 y 94 que contiene los niveles registrados de radiación solar de onda corta, incidente y transmitida, y radiación de onda larga, emitida por las protecciones, para las diferentes mediciones realizadas.

	NIVELES DE RADIACIÓN INCIDENTE (W/m ²)											
Protección	inci	dencia no	rmal	ori	entación e	ste	orie	entación n	orte	orier	tación no	roeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	376.9	914.6	798.4	417.24	597.03	504.06	346.4	710.8	606.7
PS3	1,024.0	1,046.0	1,039.0	300.2	911.2	727.9	393.3	470.8	444.9	321.8	700.8	594.4
PS4	1,066.5	1,117.1	1,096.8	337.7	886.5	732.4	283.3	346.9	324.9	417,14	632,84	581,09
NIVELES DE RADIACIÓN TRANSMITIDA (W/m²)												
Protección	inci	dencia no	rmal	ori	entación e	ste	orie	entación n	orte	orier	ntación no	roeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	32.0	280.0	133.0	21.48	36.6	28.8	22.8	87.7	55.8
PS3	158.0	252.0	196.0	19.8	192.7	113.4	14.9	63.6	39.8	13.0	152.3	78.5
PS4	230.6	240.4	235.8	49.6	182.3	140.9	40.4	61.1	52.6	70.1	116.0	101.7
NIVELES DE RADIACIÓN EMITIDA POR LA PROTECCIÓN (W/m²)												
Protección	inci	incidencia normal			orientación este		orientación norte			orier	ntación no	roeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	448.3	593.3	511.7	510.3	577.3	539.6	482.0	572.3	535.0
PS3	422.0	455.0	442.0	446.7	541.7	502.4	454.0	507.3	483.5	474.0	544.7	513.84
PS4	476.3	501.0	488.0	449.7	546.0	495.4	457.3	507.30	485.4	460.0	515.33	488.8
				т	RANSMIT	ANCIA SC	DLAR (%)			-		
Protección	inci	dencia no	rmal	ori	entación e	ste	orie	entación n	orte	orier	tación no	roeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-		6.6%	33.2%	16.2%	5,2%	6,3%	5,7%	5.4%	15.1%	9.0%
PS3	15.10%	24.20%	18.90%	6.6%	25.1%	15.0%	3.4%	14.7%	8.9%	4.0%	21.8%	12.7%
PS4	21.34%	21.67%	21.49%	14,3%	21,2%	18,9%	13.8%	18.7%	16.2%	16,0%	18,3%	17,5%
				т	RANSMIT	ANCIA TO	DTAL (%)					
Protección	inci	dencia no	rmal	ori	entación e	ste	orie	entación n	orte	orier	ntación no	roeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	71.2%	157.7%	84.3%	96,1%	131,1%	113,2%	83.4%	160.9%	101.0%
PS3	56.8%	66.9%	61.4%	66.9%	182.1%	90.6%	108.8%	132.2%	117.8%	85.8%	158.3%	102.3%
PS4	64.8%	67.4%	66.0%	73,2%	175,7%	91,3%	152.0%	192.2%	166.4%	93,1%	128,0%	102,3%

Figura 92. Tabla resumen mediciones realizadas

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 94. Transmisión total - gráfico comparativo

En relación a la transmisión solar de onda corta, se observa que cada protección describe una curva característica propia independiente de la orientación, lo que permite vincularlo con la geometría específica de cada una de ellas.

En el caso de las venecianas, se observa que frente a una altura solar más baja, en posición vertical orientación este al principio de la medición y en posición vertical orientación noroeste al final de la medición, presentan mayores niveles de transmisión solar, mientras que frente a posiciones en que el sol tiene mayor altura la transmisión solar disminuye. Esto permite identificar que con ángulos solares más bajos se produce pasaje de radiación directa o reflexiones sobre las propias lamas que generan un aumento de la radiación transmitida, mientras que con una altura solar más alta y con la posición de las lamas a 45° se logra bloquear la radiación directa.

Por su parte para la tela *screen*, que no es clasificada a priori como una protección con fuertes condicionantes geométrica, es decir, es homogénea, se pudo observar que a medida que varía su posición relativa con respecto al sol, varía el porcentaje de radiación que ésta permite ingresar al interior del dispositivo. El valor de transmisión solar medido en posición normal a la radiación incidente (21.5%) coincide únicamente con el valor registrado a las 7:00 hs en la orientación este, y representa

además el mayor valor de transmisión solar registrado, para esta protección. Para el resto de las mediciones se registraron valores de hasta un 7% por debajo de la registrada en la medición normal.

Por su parte la chapa perforada trapezoidal describe en todas las orientaciones, un comportamiento fluctuante con picos y valles, sin embargo ese comportamiento es variable en la amplitud y magnitud de la variación para cada situación estudiada. Se entiende que ese comportamiento obedece a la influencia de la geometría, se presenta la Figura 95 que permite apreciar la incidencia de la radiación solar a través de la protección.



Figura 95. Protección trapezoidal y radiación sobre el dispositivo de medición

Los estudios estadísticos realizados no establecen una relación entre la radiación incidente y la radiación que pasa a través de la protección para ninguna de las situaciones estudiadas.

Los niveles registrados en posición de incidencia normal para esta protección presentan valores en el mismo rango que los registrados en la posición vertical orientación este entre las 7.00 y las 8.00hs y en la posición vertical orientación noroeste entre las 16:00 y las 16:30hs.

Los rangos en los niveles de transmisión solar para las diferentes protecciones y orientaciones resultantes son: para la veneciana valores entre 5.2% y 33.2%, mientras que la chapa perforada trapezoidal presenta variación entre 3.4% y 25.0% %. La tela *screen* es la que presenta un rango más acotado entre 14.0% a 21.0%.

Para las tres protecciones estudiadas los valores más altos de transmisión se encuentran en la orientación este en las primeras horas de la mañana, lo que coincide con una posición relativa del sol respecto a la protección cuasi normal.

Las Figura 94 permite observar que para todas las orientaciones – este, norte, noroeste - las tres protecciones presentan la misma tendencia en su comportamiento, lo cual del análisis presentado para cada protección, se desprende que la curva general de transmitancia total está fuertemente influenciada por el aporte de la radiación emitida por la protección. Así mismo se observa que además de la tendencia general para el caso de la chapa perforada trapezoidal y la veneciana los niveles de transmitancia total se encuentran en el mismo rango para todas las orientaciones mientras que la tela *screen* se encuentra en el mismo rango que las demás protecciones para la orientación este, mientras que para la noroeste se encuentra levemente por encima y en la norte presenta niveles notoriamente superiores. De acuerdo al análisis de los niveles de radiación incidente y emitida esto se puede explicar debido a que en las mediciones realizadas para la tela *screen* en orientación norte y noroeste se registraron niveles más bajos de radiación incidente afectando por tanto el porcentaje de transmitancia total.

Del estudio de la radiación emitida por las protecciones, figura 92, se identifica que para todas las protecciones y posiciones ensayadas los niveles de radiación emitida se registran entre 422.0 y 593.3 W/m². Sin una distinción significativa entre las diferentes protecciones.

La Figura 96 extraída de Wright et al (2009) muestran que la cortina de tela screen (beige drapery fabric) y las venecianas (venetian blind slat tienen una emisividad de 0.89 y de 0.87 respectivamente por lo que su comportamiento ante la radiación de onda larga es prácticamente igual. Según la Ley de radiación de Kirchoff: La relación entre el poder emisor de un cuerpo cualquiera y el coeficiente de absorción de dicho cuerpo depende exclusivamente de la temperatura del mismo. Por otro lado, la

distribución de la energía incidente depende de la temperatura absoluta y de la superficie que la origina el coeficiente de absorción de la superficie receptora también depende de estas propiedades. En cuerpos negros ($\alpha = 1$, máxima absorción) la emitancia será máxima.

	No	rmal Incidenc	rties	Longwave Properties		
Glazing/Shading Material	τ_{bt}	ρ_{bt}	$\tau_{\rm bd}$	$\tau_{_{bb}}$	ε	τ_{LW}
3 mm clear glass	0.83	0.08	0.00	0.83	0.84	0.00
Beige drapery fabric	0.24	0.55	0.22	0.02	0.89	0.06
Grey roller blind	0.13	0.29	0.02	0.11	0.80	0.17
Dark fiberglass insect screen	0.60	0.03	0.01	0.59	0.35	0.62
Venetian blind slat (black)	0.00	0.06	0.00	0.00	0.86	0.00
Venetian blind slat (white)	0.00	0.68	0.00	0.00	0.87	0.00

Fiaura 96-	Comportamiento	de protecciones	solares a incidencia	normal. E	xtraído de	Wriaht	et Al
rigara 50	comportannento	ac protecciones	solules a melachera	morrian. E	intratio ac		CC/11

Como las protecciones no son cuerpos negros, difícilmente se pueda medir su valor de emitancia, además según la ley de Planck; No existe ningún cuerpo real que verifique exactamente la condición de cuerpo negro ($\alpha = 1$), pero puede materializarse mediante una esfera hueca de paredes pintadas interiormente de negro y dotada de un pequeño orificio. La radiación incidente tiene pocas posibilidades de salir de sistema, por ende se puede medir como en el experimento no contamos con este dispositivo es que se asume los valores que otras investigaciones han tomado para analizar la respuesta de las protecciones ante la radiación de onda larga, ver figura 96.

De los resultados obtenidos para la radiación emitida en relación a la radiación incidente y a la transmitida, surge que en varios periodos medidos la radiación transmitida sumada a la emitida supera el valor de la radiación incidente, por otra parte, de acuerdo a la definición teórica del factor solar la fracción correspondiente a la radiación emitida por la protección debería ser menor a la radiación transmitida por la misma. Estos resultados permiten suponer que la radiación registrada de onda larga, emitida por la protección solar está afectada, no solo por la radiación incidente, sino también por la radiación emitida por el entorno.

En las condiciones de uso real, si la protección se ubica al exterior las mediciones realizadas reflejan las emisiones reales de la protección, pero hay que considerar que si la protección se encuentra al exterior dicha radiación emitida solo ingresará al espacio interior cuando las ventanas se encuentren abiertas, es decir no se interponga un vidrio entre la protección y el espacio interior. Para el caso en que las protecciones solares se encuentren al interior del espacio, la radiación emitida por el entorno, onda larga, permanecerá del lado exterior del vidrio, por tanto la protección estará únicamente afectada por la radiación emitida por el vidrio y la propia radiación absorbida por la protección y reemitida en onda larga al espacio, aunque en este caso sería preciso considerar que la totalidad de la radiación reemitida (2/3+1/3) permanece en el espacio interior, por tanto la radiación de onda larga adquiere una mayor incidencia.

En la Figura 97 y 98, se presentan de forma resumida y comparativa la transmitancia lumínica para todas las protecciones en las diferentes posiciones estudiadas.

Las curvas resultantes, al igual que para la transmisión solar, permiten identificar una curva característica para cada protección.

La veneciana presenta una curva lineal con una tendencia descendente en la orientación este, cuasi constante en orientación norte y ascendente en orientación noreste. La orientación este presenta además dos picos en los que se produce un aumento de la transmitancia. El rango de valores registrados, el más amplio de las tres protecciones estudiadas, varía entre el 0.3% y 42.3%. Estando los niveles más altos de transmitancia asociados a ángulos de incidencia más bajos de la radiación solar, lo cual podría estar asociado al pasaje de radiación directa entre las lamas o reflexión sobre las mismas.

La chapa perforada trapezoidal describe un comportamiento fluctuante, variante en amplitud y magnitud en todas las orientaciones. El rango registrado de transmitancia lumínica es entre 0.9% y 11.0%.

La tela *screen*, por su parte, presenta una tendencia lineal similar a la de la veneciana para todas las orientaciones, donde es posible identificar que al igual que la veneciana se produce mayor transmitancia solar frente a ángulos solares más bajos, sin embargo la tela *screen* no presenta "picos", lo cual es consecuente con no permitir el pasaje de radiación directa. El rango registrado para esta protección varía entre 1.2% y 12.4%.

La tela *screen* además se ensayó en posición de incidencia normal a la radiación, obteniendo un valor promedio de 12.1%. Al igual que lo analizado para la radiación solar, este valor únicamente coincide con los niveles registrados en orientación este a primeras horas de la mañana (12.4%).

				NIVEL	ES DE ILUN	MINANCIA	EXTERIOR	R (lux)				
Protección	incid	lencia noi	rmal	orientación este			orientación norte			orientación noroeste		
solar	min.	máx.	prom	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	22172.9	167094.4	83780.2	119469.5	158495.6	135527.3	48942.9	140326.4	108589.1
PS3	-	-	-	13357.1	120974.6	76712.5	115062.6	135380.9	129341.7	43782.4	139573.8	108711.7
PS4	137961.2	42046.6	139184.8	27548.4	142369.1	86018.5	119254.4	133768.3	129720.9	44427.5	120759.6	87141.6
	NIVELES DE ILUMINANCIA INTERIOR (lux)											
Protección	incid	lencia noi	rmal	orientación este		orie	orientación norte			orientación noroeste		
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	1147.81	14770.35	6141.41	302.2	1847.08	606.1	412.5	2802.4	1672.3
PS3	-	-	-	725.0	10266.3	6275.2	1258.1	8538.2	4522.0	1267.3	9200.0	6101.3
PS4	16287.0	17178.7	16804.9	1736.1	6102.3	4264.5	1065.1	1984.3	1466.3	2186.5	4153.6	3231.1
				т	RANSMIT	ANCIA LU	MÍNICA (%	5)				
Protección	incid	lencia noi	rmal	ori	entación e	ste	orie	entación no	orte	orier	ntación nor	oeste
solar	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.	min.	máx.	prom.
PS1	-	-	-	0.7%	42.3%	11.0%	0.3%	1.5%	0.5%	0.3%	6.0%	2.0%
PS3	-	-	-	5.4%	10.9%	7.9%	0.9%	6.5%	3.5%	0.9%	11.0%	6.3%
PS4	11.8%	12.2%	12.1%	1,2%	12,4%	6,1%	0,9%	1,5%	1,1%	2,5%	5,2%	3,9%

Fiaura 97	PS4	Transmisión	solar	v total
riguiu 97.	F 34	nunsinision	solui	y lolui



Figura 98. PS4 Transmisión solar y total

5.1.8 – Conclusiones del método experimental

Este trabajo presenta los estudios realizados sobre tres tipos de protecciones solares, cortina veneciana, chapa perforada trapezoidal y cortina de tela *screen*, para evaluar la transmisión de radiación solar de onda corta y lumínica a través de ellas y la radiación de onda larga emitida por las protecciones en diferentes posiciones.

A partir de los estudios realizados se puede concluir que el desempeño de las protecciones solares es dinámico frente a la radicación 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.

Las mediciones realizadas, permiten 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 para la tela *screen* y chapa perforada trapezoidal - protecciones ensayadas en dicha posición-por encima de los niveles registrados en condiciones reales de uso en fachada.

El factor solar en las condiciones reales de uso -orientación norte- presenta un mejor desempeño que el valor considerado normalmente en la bibliografía técnica -condición normal- para el período caluroso. Esta diferencia, podría por ejemplo, llevar a un sobredimensionando de los cálculos de demanda de refrigeración, o condicionar los niveles de iluminación interior, situación que se puede ver en las simulaciones, apartado 5.2 de datos analiticos.

Por otra parte, los resultados obtenidos de radiación de onda larga, evidencian la importancia de considerar este aporte de energía cuando las protecciones solares se encuentran al interior de los espacios.

Este trabajo permite un acercamiento para comprender la influencia del uso de protecciones solares para controlar el pasaje de radiación solar al interior de los edificios y para mostrar la incidencia real de los sistemas de protección solar a nivel energético y sobre las condiciones en ambientes interiores, a los efectos de orientar la toma de decisiones de los profesionales del diseño.

5.2 Presentación del Método Analítico

El método analítico utilizado consistió en simulación computacional, utilizando el programa Energy Plus y DIALUX que permiten evaluar las distintas tipologías de cerramientos transparentes. El objeto de estudio es el desempeño térmico y lumínico del cerramiento transparente. Para el ingreso de los datos en el software, la selección del marco y el vidrio se basó en la normativa existente (ISO 10077-1:2006; ISO 9050: 2003).

En un inicio se buscó trabajar con las herramientas complementarias WIS y WINDOWS, para ayudar a determinar las características térmicas y ópticas de los cerramientos transparentes. Sin embargo no fue posible incorporar los datos de las mediciones a estos programas, ya que para ingresar datos de nuevas protecciones era necesario contar con información del comportamiento espectral de las protecciones lo cual excede el alcance de las mediciones realizadas.

5.2.1 - Modelo Dialux 4.13

El Dialux es un software gratuito de DIAL que permite crear proyectos de iluminación profesionales, diseñado básicamente para iluminación artificial pero que para un día y una hora determinada puede evaluar el ingreso de radiación lumínico. Para este proyecto y a modo de iluminación preliminar de los registros medidos se simuló para la orientación norte en los días de medición detallados en el apartado 5.1. se determinaron las curvas de igual iluminación para las venecianas y la cortina roller. En el caso de la chapa trapezoidal no se pudo simular debido a la complejidad de la geometría que el programa no podía manejar.

ABERTURA 01	3.9 x1,6 m de altura										
Proyecto:			1								
										Utactor	4,454
	C IIC Professiones										
Montevideo:				1.1.1					1	SHGC	0.201
	Latitud 34.5 S									VT	0.096
	Longitud 58*										
	Hora : -3GTM								- 11 C		
	Modelo Sin nada			Modelo vene	danas		Modelo roller		Modelo Hunter		
Loosi 1			Loosi 1			Local 1			Loosi 1		
	Plano util:	0.85m		Plano útil:	0.85m		Plano útil:	0.85m			
	Suelo	color gris		Suelo	color gris		Suelo	color gris			
		grado de reflexión: 30%			grado de reflexión: 30%			grado de reflexión: 30%	1		
		Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transpanencia: 0 %)		
		Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%	1		
		Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			
		Suelo estandard(cerámico7)	j.		Suelo estandard(cerámico7)			Suelo estandard(cerámico7)	1		
	Techo	color blanco7		Techo	color blanco?		Techo	color blanco?	- C		
		grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%	1		
		Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			
		Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			
		Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%	1		
		Suelo estandard(cerámico7)	2		Suelo estandard(cerámico?)			Suelo estandard(cerámico7)	1		
	Pared 1	color blanco?	2	Pared 1	color blanco?		Pared 1	color blanco?			
		grado de refeiólos: 70%	1		grado de refesión: 70%			grado da reflexión: 70%			
		Transpanencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transpanencia: 0 %			
		Rugosidad: 0%			Rugesidad: 0%			Rugosidad: 0%			
		Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%	() () () () () () () () () ()		
		Suelo estandard(cerámico?)			Suelo estandard(cerámico?)			Suelo estandard(cerámico?)			
	Pared 2	color blanco7		Pared 2	color blanco?		Pared 2	color blanco?			
		grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%	1		
		Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %	1		
		Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			
		Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			
		Suelo estandard(cerámico7)			Suelo estandard(cerámico?)			Suelo estandard(cerámico?)	1		
	Pared 3	color blanco?	1	Pared 3	color blanco?		Pared 3	color blanco?			
		grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%	10.		
		Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			
		Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			Rugosidad: 0%			
		Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%			Efecto espejo: 0%)		
		Suelo estandard(cerámico?)			Suelo estandard(cerámico7)			Suelo estandard(cerámico?))		
	Pared 4	color blanco?		Pared 4	color blanco?		Pared 4	color blanco?			
		grado da reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%			grado de reflexión: 70%	1		
		Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			Transparencia: 0 %			

En la Figura 99 se presenta la configuración utilizada.

Figura 99. Configuración del modelo en DIALUX

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

a. <u>Venecianas</u>



Figura 100. Isolíneas venecianas

Lo que muestra la simulación Figura 100 es que la geometría está determinando fuertemente la cantidad de radiación lumínica que se recibe. Se encuentran además sectores en donde será necesario completar la iluminación natural.





En el caso de las rollers, Figura 101, existe un nivel bajo de iluminación natural lo que podría determinar situaciones de incomodidad visual que conlleva al bloqueo de los aventanamientos, generando espacios sombríos que requieren de energía eléctrica para la iluminación, resultando energéticamente no sustentables.

5.2.1 Modelo Energy plus

El software Energy-Plus, versión 8.0, -software elegido para simular los prototipos-, es un programa de simulación térmica y energética de edificios desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos), que funciona en régimen variable y permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de la envolvente del edificio. El programa EnergyPlus es capaz de simular cargas de calefacción, ventilación, iluminación natural y artificial, cargas internas e instalaciones de climatización (HVAC), para este estudio nos hemos acotado en simular solamente el espacio con las variables exteriores medidas, ya que el objetivo primario del estudio es predecir la influencia de las ventanas en las cargas térmicas de los edificios.

EnergyPlus calcula las cargas térmicas de los edificios por el método de balance de calor. Este método tiene en cuenta todos los balances de calor en las superficies exteriores e interiores y la conducción de calor transitoria en el espacio. En EnergyPlus, la transferencia de calor por radiación, convección y conducción se calcula en cada paso de tiempo.

En el programa Energy Plus se realizaron simulaciones térmicas y lumínicas para un local definido. Las simulaciones se realizaron para la ciudad de Montevideo, utilizando el archivo climático proporcionado por el Laboratorio de Energía Solar (disponible on line en http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/URY_Uruguay/index.html).

Para la evaluación térmica, las simulaciones arrojan resultados de demanda de energía para calefacción y refrigeración y temperaturas del aire en base horaria. Estas últimas se cotejan con el rango de confort térmico establecido por Picción et al (2011).

Para la evaluación lumínica, el programa calcula índice de deslumbramiento en un punto del local y niveles de iluminación en los puntos asignados.

5.2.2.1. Definición del modelo geométrico

Para las simulaciones energéticas se toma un modelo correspondiente a un local de oficina, de planta cuadrada, de 4 m de lado, con una pared con una ventana de 6.24m² (3.90 x 1.60m) que representa un factor de huecos del 60%. En la Figura 102 se muestra el modelo simulado. Las características físicas, térmicas y lumínicas de los materiales que la conforman se muestran en la Figura 103.



Figura 102 - modelo de simulación en Energy Plus

Superficie	Material superficial	Color Transmitancia térmica		condición de borde	
Pared	revoque	claro	-	Adiabática	
Pared con ventana	revoque	claro	0.81 W/m ² K	Expuesta	
Techo	revoque	claro		Adiabática	
Piso	cerámica	oscuro	-	Adiabático	
Ventana	vidrio simple	transparente	0.83 W/m ² K	Expuesta	

Figura 103 - Características de la envolvente

5.2.2.2. Cargas internas

Como el programa calcula demanda de energía, es necesario definir las cargas internas que se tendrán en cuenta. En este sentido, se consideró el uso de una oficina promedio, con horario de funcionamiento de 9 a 18 hs, de lunes a viernes, durante todo el año. Un resumen de las cargas internas se presenta en la Figura 104. Se muestran las infiltraciones como una carga negativa a considerar, principalmente para calefacción.

	Cargas	Ocupación/actividad		Luces		Equipamiento		Infiltraciones
	Días	LaV	SyD	LaV	SyD	LaV	SyD	LaD
Horas	0:00:00 a 8:00	0 personas/ 0 W	0 pers/ 0 W	0 W	0 W	30 W	30 W	3 rph
	9:00 a 18:00	2 personas / 70.1 W		5 W/m2		300 W		
	19 a 24:00	0 personas/ 0 W		0 W		30 W		

Figura 104. Datos de entrada de cargas internas para simulación.

5.2.2.3. Condiciones para el accionamiento de las protecciones solares

Las protecciones estudiadas se simularon para dos objetivos distintos, uno para controlar las ganancias solares exclusivamente y el otro para contemplar el confort visual. En el primer caso, las protecciones solares se accionan únicamente durante el período caluroso y cuando la temperatura del aire interior alcanza los 22ºC. En el período frío, no se consideró su uso ya que el objetivo es captar la mayor cantidad de radiación solar incidente en la ventana. En cambio, para controlar las condiciones de confort visual, las protecciones se activan de acuerdo al índice de deslumbramiento. Cuanto este valor es de 22, las protecciones se accionan para no generar disconfort visual.

Con esto se trata de ver el impacto en el comportamiento energético de un local al considerar diferentes criterios que puede tener un usuario para utilizar las protecciones solares.

5.2.2.4. Resultados

a. Orientación norte

Demanda de energía

En la Figura 105, se muestra el consumo de energía para cada tipo de protección solar en ubicaciones diferentes y, a modo de referencia, para el local sin protección solar.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 105. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación norte.

	Sin protección	Veneciana int N	Roller int N	Veneciana ext N	Roller ext N
Refrigeración	88%	80%	65%	70%	48%
Calefacción	12%	20%	35%	30%	52%

Figura 106. Distribución de la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación norte.

Para la orientación norte, se observa que la presencia de las protecciones solares disminuye el consumo de energía anual en todos los casos. Las cortinas venecianas, por su geometría y composición de lamas, resultan ser menos eficientes que las rollers, tanto para interior como para exterior. La menor demanda total anual se obtiene para las rollers exteriores presentando 747 kWh/año, lo que representa un total de 47 kWh/año/m² reduciendo un 55% el valor de un local sin protección, siendo este valor de 104 kWh/año/m². Si se estudia por separado las demandas de calefacción y refrigeración, se observa que la menor demanda de energía para calefacción es para el local sin protección solar, resultando ser las rollers exteriores las que presentan mayor porcentaje de demanda de calefacción comparativamente con las otras protecciones, así como en el desempeño anual (ver Figura 106). Asimismo, la menor demanda de refrigeración también es para las rollers exteriores, representando el 25% del valor de referencia.

Horas de confort térmico

Si se estudian las condiciones de confort térmico del local sin equipos de climatización, se observa que para todas las protecciones solares se aumenta la cantidad de horas de temperatura del aire interior que se encuentra dentro del rango de confort, Figura 107 y Tabla 108. El mayor porcentaje de horas de confort, 73 % de las horas del año, es para las rollers exteriores, distribuido en 2350 horas en el período caluroso (76% del período) y 4058 horas en el período frío (73% del período).

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 107. Cantidad de horas al año de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación norte.

	Exterior	Sin Protección	Veneciana int N	Roller int N	Veneciana ext N	Roller ext N
confort	0.23	0.40	0.53	0.66	0.62	0.73
disconfort	0.77	0.60	0.47	0.34	0.38	0.27

Tabla 108. Porcentaje anual de horas de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación norte.

b. Orientación este

Demanda de energía

En la Figura 109, se muestra el consumo de energía para cada tipo de protección solar en ubicaciones diferentes para la orientación este y, a modo de referencia, para el local sin protección solar.

Para la orientación este, se observa al igual que para la orientación norte, que la presencia de las protecciones solares disminuye el consumo de energía anual en todos los casos. La menor demanda total anual se obtiene para las rollers exteriores presentando 1167 kWh/año, lo que representa un total de 73 kWh/año/m² reduciendo un 54% el valor de un local sin protección, siendo este valor de 158 kWh/año/m². Al estudiar por separado las demandas de calefacción y refrigeración, se observa que la menor demanda de energía para calefacción es para el local sin protección solar, seguida de las venecianas interiores y, nuevamente, las rollers exteriores resultan ser las que presentan mayor porcentaje de demanda de calefacción comparativamente con las otras protecciones, así como en el desempeño anual (ver Figura 110). Sin embargo, no aumenta más del 6% sobre el local sin protección en el caso más comprometido, y el resto de las protecciones se comportan de manera similar. Asimismo, la menor demanda de refrigeración también es para las rollers exteriores, representando el 24% del valor de referencia.
Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 109. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación este.

	Sin protección	Veneciana int E	Roller int E	Veneciana ext E	Roller ext E
Refrigeración	73%	66%	52%	54%	37%
Calefacción	27%	34%	48%	46%	63%

Figura 110. Distribución de la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación este.

Horas de confort térmico

En el caso de las condiciones de confort térmico del local en fluctuaciones libres, se observa que para todas las protecciones solares se aumenta la cantidad de horas de temperatura del aire interior que se encuentra dentro del rango de confort. El mayor porcentaje es para las rollers exteriores, 60 % de las horas del año, distribuido en 2386 horas en el período caluroso (78% del período) y 2900 horas en el período frío (51% del período).



Figura 111. Cantidad de horas al año de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación este.

	Exterior	Sin Protección	Veneciana int N	Roller int N	Veneciana ext N	Roller ext N
confort	0.23	0.33	0.40	0.53	0.49	0.60
disconfort	0.77	0.67	0.60	0.47	0.51	0.40

Figura 112. Porcentaje anual de horas de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación este.

c. Orientación noroeste

Demanda de energía

En la figura 113, para la orientación noroeste, se muestra el consumo de energía para cada tipo de protección solar en ubicaciones diferentes y, a modo de referencia, para el local sin protección solar.

Para la orientación noroeste, al igual que para las otras dos orientaciones solares estudiadas, se observa que la presencia de las protecciones solares disminuye el consumo de energía anual en todos los casos. En este caso, nuevamente, la menor demanda total anual se obtiene para las rollers exteriores presentando 835 kWh/año, lo que representa un total de 52 kWh/año/m² reduciendo un 66% el valor de un local sin protección, siendo este valor de 154 kWh/año/m2. Si se estudia por separado las demandas de calefacción y refrigeración, se observa que la menor demanda de energía para calefacción es para el local sin protección solar, 254 kWh/año. Las rollers exteriores presentan una demanda de energía 69% mayor a este valor y es el mayor valor de demanda de calefacción comparativamente con las otras protecciones, así como en el porcentaje de desempeño anual (ver Figura 114). Asimismo, la menor demanda de refrigeración también es para las rollers exteriores, representando el 18% del valor de referencia.



Figura 113. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación noroeste.

	Sin protección	Veneciana int E	Roller int E	Veneciana ext E	Roller ext E
Refrigeración	90%	84%	69%	73%	49%
Calefacción	10%	16%	31%	27%	51%

Figura 114. Distribución de la demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación noroeste.

Horas de confort térmico

Si se estudian las condiciones de confort térmico del local sin equipos de climatización, se observa que para todas las protecciones solares se aumenta la cantidad de horas de temperatura del aire interior que se encuentra dentro del rango de confort, Figura 115 y 116.. El mayor porcentaje, 71 % de las horas del año, es para las rollers exteriores, distribuido en 2309 horas en el período caluroso (75% del período) y 3867 horas en el período frío (73% del período).



Figura 115. Cantidad de horas al año de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación noroeste.

	Exterior	Sin Protección	Veneciana int NO	Roller int NO	Veneciana ext NO	Roller ext NO
confort	0.23	0.31	0.41	0.60	0.53	0.71
disconfort	0.77	0.69	0.59	0.40	0.47	0.29

Tabla 116. Porcentaje anual de horas de temperatura del aire interior dentro del rango de confort térmico para distintas protecciones solares, orientación noroeste.

Otras consideraciones

Se presentan a continuación los resultados para un local con el techo y otra pared expuesta más. Si bien los valores absolutos de demanda de energía son diferentes, el análisis comparativo entre los desempeños de cada protección solar para una misma orientación es similar a los presentados anteriormente.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 117. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación norte considerando techo y dos paredes expuestas.



Figura 118. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, orientación este considerando techo y dos paredes expuestas.

Control de deslumbramiento

Si se compara el comportamiento de las protecciones al activar control de deslumbramiento (confort visual) se observa que hay un aumento de la demanda de energía anual, en comparación al activar las protecciones únicamente para controlar la temperatura interior (control térmico), para todas las protecciones estudiadas en orientación norte. Asimismo, las rollers exteriores son las que presentan mayor demanda en calefacción. Al estudiar las demandas por períodos, se observa que con control de deslumbramiento hay un incremento en calefacción para todas las protecciones, con un incremento máximo de 285% para las rollers exteriores. Sin embargo, al considerar la demanda de refrigeración, las rollers son las que presentan una reducción al considerar el control de deslumbramiento, siendo las interiores las que tienen el mejor desempeño (9% de reducción).



Figura 119. Demanda anual de energía para distintas protecciones solares, con y sin control de deslumbramiento, orientación norte.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Figura 120. Demanda anual de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, considerando control de deslumbramiento, orientación norte.



Figura 121. Diferencia de demanda de energía para calefacción y refrigeración para distintas protecciones solares, considerando control de deslumbramiento, orientación norte.

Futuras líneas de investigación

Se plantean tres líneas para profundizar el trabajo realizado:

- el estudio del desempeño de protecciones solares instaladas en edificios existentes, con lo cual se busca integrar la evaluación cualitativa (impacto en la calidad del espacio habitado) con la cuantitativa (mediciones de parámetros ambientales)
- estudiar detalladamente la incidencia que la geometría y la terminación superficial de las protecciones tienen sobre la transmisión solar y lumínica.
- para los meses del período frío es necesario estudiar la incidencia del diseño y conformación del cerramiento transparente en las condiciones térmicas y lumínicas del espacio. Interesa especialmente la contribución de las protecciones solares fijas y de los tipos de marco de la ventana al balance energético de la ventana, debido a que los marcos suelen tener una transmitancia térmica muy alta y que ambos limitan la ganancia solar directa.

Agradecimientos

Agradecemos a la Comisión Sectorial de Investigación Científica por el apoyo brindado para el desarrollo del proyecto y a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo - UdelaR por facilitar el espacio físico para realizar las mediciones.

6. Referencias bibliográficas.

- ANDERSEN, MARILYNE & BOER, JAN. (2006). Goniophotometry and assessment of bidirectional photometric properties of complex fenestration systems. Energy and Buildings. 38. 836-848. 10.1016/j.enbuild.2006.03.009.
- ANSI/NFRC 200 Procedure for Determining Fenestration Product Solar Heat Gain Coefficient and Visible Transmittance at Normal Incidence
- APPELFELD, D., MCNEIL, A., & SVENDSEN, S. (2012). An hourly based performance comparison of an integrated micro-structural perforated shading screen with standard shading systems. Energy and Buildings, 50, pp.166–176. <u>http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.03.038</u>
- ATHIENITIS, ANDREAS & TZEMPELIKOS, ATHANASIOS. (2002). A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device. Solar Energy. 72. 271-281. 10.1016/S0038-092X(02)00016-6.
- BELLIA, LAURA & FALCO, FRANCESCO & MINICHIELLO, FRANCESCO. (2013). Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. Applied Thermal Engineering. 54. 190–201. 10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039.
- BELLIA, LAURA & MARINO, CONCETTA & MINICHIELLO, FRANCESCO & PEDACE, ALESSIA. (2014). An
 Overview on Solar Shading Systems for Buildings. Energy Procedia. 62.
 10.1016/j.egypro.2014.12.392.
- BUSTAMANTE, WALDO & VERA, SERGIO & PRIETO, ALEJANDRO & VÁSQUEZ, CLAUDIO. (2014). Solar and Lighting Transmission through Complex Fenestration Systems of Office Buildings in a Warm and Dry Climate of Chile. Sustainability. 6. 2786-2801. 10.3390/su6052786.
- CHAUVIE, V. (2003). Selección de programas para la predicción del comportamiento térmico de edificios. Informe final. Montevideo.
- DAVID M.; DONN M.; GARDEF. Y LENOIR A. (2011) Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades, Building and Environment, Volume 46, pp 1489- 1496
- DE GASTINES M., PATTINI A. (2017) Cálculo De Precisión Del Factor Solar De Ventanas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 21, pp 08.125-08.133,. ISSN 2314-1433
- DUTRA, LUCIANO. (1994) Uma Metodologia para a Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas. Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis,
- DIN EN 410:2011. Glass In Building Determination Of Luminous And Solar Characteristics Of Glazing
- DINAVI MVOTMA (2011) Bases del sistema de otorgamiento de aptitud técnica a sistemas constructivos no tradicionales, Sección II.- Estándares de desempeño para la vivienda.
- EVANS J.M et AL. (1999) Uso de modelo a escala en el cielo artificial. Características de reflexión de los acabados superficiales interiores y exteriores. Avances en Energías Renovables y Medio

Ambiente. Vol. 3, N°2, 8.169-8.172.

- HANAM, BRITTANY & JAUGELIS, AL & FINCH, GRAHAM. (2014). Energy Performance Of Windows: Navigating North American And European Window Standards, Canadian Conference on Building Science and Technology
- INDRIAGO, JOSÉ, GONZÁLEZ, ROSALINDA, LA ROCHE, PABLO, MUSTIELES, FRANCISCO, MACHADO, MARÍA, OTEIZA, IGNACIO. (2002), Evaluation of the natural illumination and sunlighting of bioclimatic houses for hot humid climates. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, Volumen 25 Nº 2, p 68 - 81
- INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS (2017). Desempeño térmico de ventanas, puertas y protecciones exteriores Cálculo de la transmitancia térmica Parte 1: Generalidades (norma UNIT-ISO № 10077-1:2017).
- INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS (2017). Desempeño térmico de ventanas, puertas y protecciones exteriores Cálculo de la transmitancia térmica Parte 1: Método numérico para los marcos (norma UNIT-ISO № 10077-2:2017).
- INTENDENCIA DE MONTEVIDEO (2009), Digesto Departamental, Volumen XV, Libro XVI, Del Planeamiento de la Edificación, Parte Reglamentaria, Título III.I. Normas para edificios destinados a vivienda, Capítulo Único. De la reducción de la demanda de energía para acondicionamiento térmico.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2003). Glass in building Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors (norma ISO 9050:2003).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2003). Thermal performance of windows, doors and shading devices Detailed calculations (norma ISO 15099:2003).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1985). Doorsets Air permeability test (norma ISO 8272:1985).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2005). Thermal performance of windows and doors Determination of thermal transmittance by hot box method Part 2: Roof windows and other projecting windows (norma ISO 12567-2:2005).
- KIM, YU-SIN & LIM, JI-SUN & HONG, SEONG-KWAN & KWUN, JOON-BUM & CHOI, AN-SEOP & KIM, YONG-SHIK. (2013). Luminous Characteristics of Shading Materials for Office Buildings: Perforated Panels vs. Fabric Blinds. LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America. 6. 227-240. 10.1582/LEUKOS.2010.06.03003.
- KIRIMTAT, AYCA & KOYUNBABA, BASAK & CHATZIKONSTANTINOU, IOANNIS & SARIYILDIZ, SEVIL. (2016). Review of simulation modeling for shading devices in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 53. 23-49. 10.1016/j.rser.2015.08.020.
- KUHN, TILMANN. (2006). Solar control: A general evaluation method for facades with venetian blinds or other solar control systems. Energy and Buildings. 38. 648-660. 10.1016/j.enbuild.2005.10.002.

- LÓPEZ, MA. NOEL. (2012) Cambio climático y edificación:Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) aplicada a un programa habitacional de la década del noventa en el área metropolitana de Montevideo.
- MAININI, A, POLI, T, ZINZI, M, SPERONI, A. (2015) Metal Mesh as Shading Devices and Thermal Response of an Office Building: Parametric Analysis, Energy Procedia, Volume 78,, pages 103-109,
- MANZAN, MARCO et AL. (2009) Genetic optimization of external shading devices. 11th international IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30
- MARINOSKI, DEIVIS & GUTHS, SAULO & LAMBERTS, ROBERTO. (2012). Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations. Building and Environment. 47. 232–242. 10.1016/j.buildenv.2011.07.017.
- MATHEWS, et AL, (1994) Validation and futher development of a novel thermal analysis method. Building & Environment, vol. 29, №2 1994.
- MILBRATZ, JULIANA. (2007) Construção, conforto ambiental e uso racional de energia e agua. Analise de propiedades térmicas e ópticas de janelas a través de simulação computacional. Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MIEM (2015) Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015 2024. Disponible en : http://www.miem.gub.uy/documents/10192/0/Plan%20Nacional%20de%20Eficiencia%20 Energetica.pdf
- MVOTMA (2010) Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente Monitoreo del desarrollo sostenible para Uruguay. Disponible en: http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=2&ved=0CB8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fww w.mvotma.gub.uy%2Findicadores%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_do wnload%26gid%3D4%26Itemid%3D&rct=j&q=Sistema%20de%20Indicadores%20de%20desarroll o%20sostenible%20para%20Uruguay&ei=jcbKTZ-HLJK3tgeQ_qXuBw&usg=AFQjCNFXkmtPhlo7VyJ7wyZphULg37V1vw&sig2=kscgV4Z5T3UXylwXfV WOVg.
- PATTINI, A. (2000). "Evaluación de la iluminación natural en edificios. Modelos a escala". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 4(1): 8
- PEREIRA, F. O. R. (1993) Desenvolvimento de um aparato experimental para medição do ganho de calor solar de sistemas de aberturas complexas em modelos reduzidos. En: ENTAC'93, SAO PAULO, SP.
- PICCIÓN, A., ET AL. (2008) Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo. Proyecto financiado por el PDT. Informe Final. disponible en <u>http://www.fadu.edu.uy/ic/files/2012/03/documento-final_proyPDT06.pdf</u>
- PICCIÓN, A., ET AL. (2011) Un aporte a la eficiencia energética a partir del estudio de condiciones de confort térmico y lumínico en edificios de uso discontinuo para condiciones de clima templado. Estudio de casos. CSIC I+D, informe final mayo.

RUSTICUCCI Y RENOM (2008) Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. International Journal of Climatology .Volume 28, Issue 8 1083 – 1095.

- SANTOS AJ. (2001) Desenvolvimento de uma metodologia de caracterização das condições de iluminação natural nos edificios baseada na avaliação 'in situ'. Master's Thesis, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal.
- SANTOS, J. C. P; SICHIERI, E. P. CARAM, R. M. RORIZ, M. Determination of Reference Transparent Materials for Solar Heat Gains Calculation. In: 20th International Conference on Passive and Low Energy Architecture., 2003, Santiago. Proceeding of PLEA 2003, 2003b.
- SIGNOR, R. (1999) Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras. Orientação de Roberto Lamberts.1999. 122p. Florianópolis. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SIMMLER, H., BINDER B. (2008) Experimental and numerical determination of the total solar energy transmittance of glazing with venetian blind shading. Building and environment, 43, 197-204.
- STAZI, FRANCESCA & MARINELLI, SIMONA & DI PERNA, COSTANZO & MUNAFÒ, P.. (2014). Comparison on solar shadings: Monitoring of the thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental impact. Solar Energy. 105. 512–528. 10.1016/j.solener.2014.04.005.
- SIMMLER, H., BINDER B. (2008) Experimental and numerical determination of the total solar energy transmittance of glazing with venetian blind shading. Building and environment, 43, 197-204.
- THANACHAREONKIT, A. & SCARTEZZINI, JEAN-LOUIS & ANDERSEN, MARILYNE. (2005). Comparing daylighting performance assessment of buildings in scale models and test modules. Solar Energy. 79. 168-182. 10.1016/j.solener.2005.01.011.
- WALL, M., BÜLOW-HÜBE, H., & DUBOIS, M. C. (2001). Solar protection in buildings. Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Construction and Architecture.
- WIENOLD, JAN ET AL. (2011) Climate based simulation of different shading devices systems for comfort and energy demand. 12th conference of international building performance simulation association, Sydney, 14-16 November
- WRIGHT, JOHN & COLLINS, MICHAEL & KOTEY, NATHAN. (2009). Solar Gain Through Windows with Shading Devices: Simulations Versus Measurements. ASHRAE Transactions. 115. 18-30.



Anexo 1- Medición complementaria radiación de onda larga



Se realizó de forma complementaria un ensayo piloto el 23 de Mayo, donde se registró con la protección de chapa perforada trapezoidal los niveles de radiación incidente, transmitida y emitida en dos posiciones, posición vertical orientación norte, y posición horizontal orientado hacia el cielo (menor incidencia de entorno en el campo de los instrumentos); a su vez se realizó la medición intercalando cada 5 minutos la colocación o no de la chapa perforada trapezoidal de forma de registrar los niveles de radiación emitida por el entorno.

Se observa que en posición vertical los niveles de radiación exterior varían entre XXX W/m2 aprox. Mientras que la radiación emitida se mantiene en el rango de los XX W/m2 con la protección presente y 350 W/m2 sin la protección. Al ser la radiación incidente más alta que la registrada en el periodo de verano, el porcentaje de transmisión total, se registra en el entorno del 60%.

En posición horizontal, con los instrumentos orientados hacia el cielo, los niveles de radiación exterior rondan los 550 W/m2 (hay una menor componente de la radiación directa) y la radiación emitida por la protección se encuentra en el entorno de los 400W/m2, sin la protección los niveles rondan los 230 W/m2. En este caso la radiación transmisión total con la protección alcanza niveles entre 90-100%.

Anexo 2- Configuración de instrumentos y adquisición de datos

Los equipos utilizados para la adquisición de datos son los siguientes:

- Pirgeómetro SGR3-V kippzonen, de rango espectral de 4.5 a 42 μm y sensibilidad 14.63 $\mu m/W/m^2$
- PiranómetroSPLite 2 kippzonen , de rango espectral 400 a 1100nm y sensibilidades de 65.4 μm/W/m² para el interior y de 68,4 μm/W/m² para el exterior, ambos valores medidos a incidencia normal y 1.5 de irradiancia solar.
- Luxómetro Extech HD-450, de rango 0 a 400.000lux
- Termómetros HOBOS

Los equipos utilizados para el registro de datos son los siguientes:

-Logbox SE kippzonen (para registro de datos de los piranómetros y del pirgeómetro).

- -Luxómetro Digital Registrador Extech
- -Termómetros HOBOS

Los datos registrados se descargan mediante conexión USB a la computadora utilizando los programas LogboxSESetup y HD450 respectivamente.

FORMA DE CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE LOGBOX_

View	Help										
alog	Digital	Seria	1	Intern	al	Output	EWS	System	Modem	LiveView	
ALOG	1										PC COM
MEAS	SURE	POLARITY		RANGE	RATIO	OUTPUT	SENSOR	POLY			
41 E	3			2500mV		00		P1			
12	1			2500mV		00		P1			COM4 👻
43 E	3			3000mV		00		P1			115200 - bos
14	3			3000mV		00		P1			
											Set System Time
											Select Device
19	1	BIP	- 1	-		01		• P1			
10	/	BIP .	- 1	-		02		• P2	1		
111	3	BIP .	- 2	2500 -	E	00		P1			
112	1	BIP .	. 2	2500 -		00		P1			
											Sand
											Send
											Retrieve

Configuración de conexión analógica_

imagen 1

Se deberá tildar la conexión AIN9 (piranómetro interior) y AIN10 (piranómetro exterior) y seleccionar para ambos un rango de 156 correspondiente a los datos obtenidos de los fabricantes.

Por otro lado, debemos seleccionar el puerto de conexión USB (COM 4 en este caso, ver parte superior derecha de la imagen) que variará según cada computadora (comprobar en panel de control en qué puerto se estableció la conexión.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

nalog	Digita	1 I	Seri	ial II	nter	mal	0	utput	E	ews	1	System Modem LiveV	ïew	
ERIAL			3		3									PC COM
This	EASURE	COM		BRATE		BITS		PARIT	-	STOP	s	VIDRIVER	ADDRESS	
IN2		COMI	÷	115200	÷	8	-	N	÷	1		NONE +		COM4 -
IN3		COM1		115200	+	8		N	+	1		NONE		
IN4		COM1	•	115200	-	8		N	•	1	-	NONE -		115200 • bps
IN5		COM1	•	115200	-	8	•	N	•	1	-	NONE +		Set System Time
IN6		COM1	•	115200	•	8	٠	N	٠	1	•	NONE -		Select Device
IN7		COM1	٠	115200	٠	8	٠	Ν	•	1	•	NONE		•
SIN8		COM1	-	115200	•	8	•	Ν	•	1	-	NONE 👻		
														Send
														Retrieve

Configuración de conexión serial_

imagen 2

La configuración serial corresponde a los equipos del tipo Smart. A fin de habilitar la lectura del pirgeómetro debemos tildar bajo la columna de MEASURE la conexión SIN 1. Si la conexión es correcta, al apretar el botón RETRIEVE (ver imagen 2, abajo a la derecha) la aplicación LogboxSESetup se encargará de recoger los datos del propio instrumento, llenando así la información de las siguientes columnas.

Configuración de salida de datos_

Analog	Digital	Se	rial	In	ternal	0	Jutput	EWS	System	Modem	LiveView				
OUTPUT											-		2012	PC COM	
	INPUT		MIN	MAX	SDEV	VECT	POLY	A	IAS	A0	A1	A2	A3		
DUT1	A9	•	1		1		P1	👻 int.	P1	0	15.2905	0	0		
DUT2	A10	•	1		V	m	P2		P2	0	14.6198	0	0	COM4 🔫	
DUT3	S1_DOWNRAD	•	1		1		P3		P3	0	1	0	0	115200 - bos	
DUT4	0	•			0	C	P1	-	P4	0	0	0	0		
OUTS	0	•				回	P1	•	P5	0	0	0	0	Set System Time	
OUT6	0	•			(C)	0	P1		P6	0	0	0	0	Select Device	
OUT7	0				13		P1	•	P7	0	0	0	0		
OUTS	0				23		P1	+	P8	0	0	0	0		
OUT9	0				m		P1		P9	0	0	0	0		
OUT10	0	-			177		P1	-	P10	0	0	0	0		
DUT11	0	*	E				P1	+	P11	0	0	0	0		
DUT12	0	•					P1		P12	0	0	0	0		
DUT13	0				m	E	P1	*	P13	0	0	0	0	Cont	
OUT14	0	+	E		0	E	P1	-	P14	0	0	0	0	Selu	
OUT15	0				0		P1		P15	0	0	0	0		
OUT 16	0	•			1	Ø	P1	-	P16	0	0	0	0		
OUT17	0	*			1	0	P1							Retrieve	
OUT 18	0	•					P1			Pn = A0 + A	1*x + A2*x^2 -	+ A3*x^3			
OUT 19	0				1	E	P1	-							
01/720	0		m	m	177	177	P1	-							

La ventana OUTPUT nos permite configurar a que salida de datos corresponde la medición de cada instrumento. Para nuestro caso, decidimos que, el OUT1 se corresponda a la entrada del AIN9 (piranómetro interior), el OUT2 se corresponda a la entrada del AIN10 (piranómetro exterior) y el OUT3 con el S1_DOWNRAD (pirgeómetro).

S1 corresponde a la conexión smart SIN1 y downrad refiere al tipo de medición que se quiere obtener (para nuestro caso, irradiancia descendente).

Las siguientes columnas tildables, nos dan la opción de separar, de los datos obtenidos en las mediciones, valores como: MIN (mínimo) MAX (máximo) SDEV (la desviación respecto del valor medio obtenido) y VECT (refiere a valores de incidencia del viento).

En la columna POLY se deberá marcar el número de referencia del polinomio a utilizar, ya que los piranómetros miden voltaje y es solo a través del polinomio que determinamos la unidad de salida de

los datos. Para este caso (piranómetros), se dividió 1000 entre el valor de sensibilidad de fabricación que cada instrumento.

Para el caso del pirgeómetro, como el dato que obtiene el logbox es W/m² el valor en el polinomio es 1.

Los 3 valores antes mencionados se ubican en la columna A1 por tratarse todas de ecuaciones de 1^{er} grado.

Por último, la columna de ALIAS refiere al nombre de salida que le queremos dar a la columna de datos finales.

Configuración de sistema_

View Help			
nalog 🛛 Di	gital Ser	al Internal Output EWS System Modem Live	liew
(STEM	170020		PC COM
mware	Version 11.8 N	v 24 2017	COM3 -
me	Prueba instrum	entos	115200
easInterval	2	sec	115200 ¥ bps
easDelay	1	sec	Set System Time
gInterval	10	sec	Select Device
epInterval	0	sec	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
ef	2496.77	mV	
erial 1	115200 -	bps	
erial2	115200 -	bps	
star-ormat	⊂sv ▼		
S4854dress			
cho			Send
li			
WS			
ate	20 03	2018	Retrieve
me	15 19	33	

imagen 4 Valores importantes:

MeasInterval: refiere a cada cuantos segundos se realizará la toma de datos.

MeasDelay: indica a partir de cuantos segundo empieza el registro de datos luego del encendido.

LogInterval: devuelve el promedio de datos recabados en la cantidad de segundos indicada. A modo de ejemplo, para el caso de la imagen, cada 2" se registra un dato y cada 10" promedia los 5 valores obtenidos en ese rango.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

MODO DE CONEXIÓN DE LOS INSTRUMENTOS AL LOGBOX_

CONEXIONES:



1_	Piranómetro interior:	
	(AIN09, analógico)	

Cables: Rojo (+) Azul (-) Negro (GND)

2_Piranómetro exterior: (AIN10, analógico)

Cables: Rojo (+) Azul (-) Negro (GND)

3_Pirgeómetro: (AIN11, analógico)

Cables: Verde (+) Marón (-)

(RS485, smart)

Cables: Amarillo (RS485 B) Gris (RS485 A) Azul (GND)

(POWER)

Cables: Blanco (Power) Negro (GND)

Negro grueso (GND, junto a los otros dispositivos)

CONFIGURACIÓN DEL LUXÓMETRO _

Datos a considerar antes de la medición:

-El luxómetro №2 es el calibrado según informe de ensayo del 04/12/2017 de Facultad de Ingeniería. A partir de ello, se establecerá una relación con el №1 a fin de que este (el no calibrado) mejore los datos a obtener.

-La extracción de las baterías implica la pérdida de información de seteo, es decir que habrá que configurar los luxómetros cada vez que se realice dicho procedimiento. Por este motivo se detallan los pasos para lograr la configuración deseada.

PASOS:

1-Colocar la batería en el registrador.

2-Conectar el luxómetro en el registrador.

3-Apretar 2" el botón de encendido (abajo a la derecha)

4-Configuración principal:

4.1_ Presionar al mismo tiempo los botones REC y UNITS (veremos como tintinea la configuración TIME en la parte superior izquierda)

4.3_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL) luego de configurar la hora, aparecerá en pantalla, tintineando, la opción SAMPLING, la cual, por defecto, es de 2 segundos. Esta opción nos permite configurar cada cuanto tiempo queremos registrar los datos a obtener. El criterio para este proyecto será cada 30".

4.4_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL), el siguiente dato a configurar es la fecha. El primer valor corresponde al mes, el segundo al día del mes y el último corresponde al día de la semana (el primer día corresponde al domingo).

4.5Siguiendo hacia la derecha (botón REL), configuramos el año.

4.2_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL), configurar hh:mm:ss utilizando los botones verdes que contienen las flechas de selección.

4.6Una vez que hayamos podido configurar todos estos datos, debemos apretar nuevamente y al mismo tiempo los botones REC y UNITS.

4.7_Seleccionar con el botón UNITS la unidad de medición en Luxes

4.8_ Seleccionar con el botón RANGE/APO el rango de medición.

4.9Finalmente se debe apretar el botón REC **en ambos luxómetros a la vez**, hasta que en el visor titile el indicador MEM.

Es importante que el luego de este paso, el reloj quede en funcionamiento, es decir que los segundos avancen en el display. Si esto no sucede, probar sacándole la tapa al visor del luxómetro, muchas veces esta acción da paso a la activación del reloj.

6-Si a la hora de destapar el visor, el display indica "OL" significa que la medida está fuera de escala, por lo que, debemos con el botón RANGE/APO encontrar la escala que más se adecúe a nuestra medición (en niveles altos se utilizará Klux).

IMPORTANTE:

-A la hora de configurar ambos luxómetros, sincronizar los relojes de los display de manera que funcionen al mismo tiempo. Esto facilitará el rastreo de datos a futuro.

-Si en la parte inferior izquierda del display aparece un símbolo de batería, quiere decir que hay que cambiarla, es importante verificarlo ya que puede apagarse en la mitad de la medición.

-Cada Registrador tiene una capacidad de almacenaje de 16.000 datos. Si bien es una capacidad más que suficiente, es necesario verificar cuantos datos se van obteniendo a fin de que no se vean afectadas las futuras mediciones por saturación de datos en la memoria. Para ello, es muy importante chequear que el SAMPLING esté registrando cada 30 segundos (y no cada 2 como viene por defecto). Si fuera necesario formatearlo, seguir los siguientes pasos:

- 1. Con el registrados apagado presionar y mantener el botón REC/SETUP.
- 2. A continuación apretar el botón de encendido. Al hacerlo aparece en el display la palabra DEL que indica que se está formateando los datos.
- 3. El registrador se enciende sin ninguna dificultad.

📲 HD450						
File(F) R	RealTime(R) COM Port(C) Dat	ta Logger(D) Mem(M) Help	(H)			
	🎽 🕨 🗉 🎂 🖯	0 8				
EYT	FCH			Real-Time Graph –		
	INSTRUMENTS	VAvic	voltage stage	Sample Pate	Sec	
	EVTECH	17003	ronago onago	Gampie Rate		
		Start Time		Data No.		
		400.00				
		400.00				
		360.00				
		320.00 -				
		280.00 -				
		240.00 -				
		200.00 -				
	UNITS LOAD RANCE	160.00 -				
		120.00				
		80.00				
		00.00				
	MAXIMIN	40.00 -				
	PEAK + REL	0.00 -		······		
		4				
	HOLD					
	0	Max	Time			
		Min	Time	Avg		

MODO DE USO DE LA INTERFAZ _

1_Es necesario, cuando finalmente conectamos el luxómetro vía USB a la PC, que sepamos cual es el puerto de conexión (puerto COM N.º). Si no nos figura a simple vista, debemos verificarlo en panel de control_sistema y seguridad_ administrador de dispositivos_ puertos COM (ver número de puerto).

2 Una vez reconocido el puerto, seleccionamos en la barra superior la opción DataLogger. De esta manera podremos acceder a los registros de medición del Luxómetro.

3_En la siguiente ventana y seleccionando el archivo correspondiente al día y hora de medición, podremos ver la gráfica lux/tiempo. Si seleccionamos la opción SAVE que figura en la barra superior, podremos exportar los datos obtenidos.

Por un lado, obtendremos un archivo .AsmDat que corresponde a la gráfica que se observa en la imagen y que solo se ve a través de la interface. Por otro lado, un archivo .txt donde figurarán los datos en columnas. Este archivo, deberá luego exportarse a excel, para trabajarlo con los demás datos recopilados de los otros instrumentos.

Anexo 3- Protocolo de medición

PREVIO A SUBIR

1. Tomar datos correspondientes al día de medición hora solar, hora legal, altura y azimut del sol durante el periodo de medición.

opción 1. Se obtienen del programa geosol.(CompuMagui, Lu o Leandro)



Completar los siguientes datos:

- Latitud: -34.5
- Longitud: 56.1
- Dia de cálculo: completar día que corresponda
- En estimación de irradiación seleccionar cualquiera de las tres opciones y dar CALCULAR

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR



Cliquear sobre la Carta Solar para abrir la pestaña con la Carta Solar



• Imprimir Carta Solar

opción 2.versión gratuita de la appSunSurveyor_

En menú Detalles _ pestaña SOL se muestran los datos del mediodía solar.



2. Configuración de Hobos.

- Con el hobo enchufado.
- Abrir el programa Boxcar.

Proyecto de investigación I+D financiado por CSIC-UdelaR Área de Clima y Confort en Arquitectura / IC/FADU/UdelaR

HOBO TEMP, RH, LI,	EXT (C) 1996 ONS	ET	S/N:	883585	Start
Date: 12/26/18 16:4	7:03		Deployment	70	Cancel
Description:	be 3 ilum			_	Help
nterval (Duration): 30	1.0 Secs (2 Days, 1	8 Hrs, 11 M	ns)	•	
Measurement	Channels	Unit	Reading		
🗸 Temperature	1	×F	82.95		
🗸 Temperature	1	*C	28.31		
') Next to channel ident selectable sensor cha	ifier denotes nnel. B-	Bad attery:	1 1	Good	
Wrap around when	full (overwrite oldes	t data)			
Delayed Start:	F	12/04/18	▼ 12:00:00	-	
		East	o /Disable Chann		

• aunch

- Configurar fecha y hora en que se quiera iniciar la medición START
- Desenchufar antes de dar OK

SUBIR

- Ilave del pilar
- carpeta
- lapicera
- hobos
- memoria sd
- registradores y cables de luxómetros

EN LA AZOTEA

- 1. Registrar mediante fotografías el estado del cielo al comienzo, intermedio y final de la toma de datos. Para esto, utilizar espejo convexo (imagen de ojo de pez).
- 2. Registrar datos de la medición en planilla
- 3. Ubicación de la caja en la posición de acuerdo a la medición que se quiera realizar.
 - a. Simplemente apoyada.

Verificar que las marcas grises en el piso coincidan con las marcas de los marcos de la base.

Girar la caja según la orientación en la que se quiera ensayar. (E, N, NO)

b. Inclinada.

Tomando la referencia de la altura a la que el sol se ubicará a la hora deseada

(obtenida en GeoSol), inclinar la caja con las varillas delanteras o traseras según el caso (período caluroso, con el sol muy alto a 78º la caja se apoya utilizando solo las varillas traseras, mientras que, en el período frío, con el sol bajo, solo con las varillas delanteras. Para ángulos entre 35º y 60º utilizar ambas)

4. Configurar luxómetros : el calibrado va al interior

1-Colocar la batería en el registrador.

2-Conectar el luxómetro en el registrador.

3-Apretar 2" el botón de encendido (abajo a la derecha)

4-Configuración principal:

4.1_ Presionar al mismo tiempo los botones REC y UNITS (veremos cómo tintinea la configuración TIME en la parte superior izquierda)

4.3_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL) luego de configurar la hora, aparecerá en pantalla, tintineando, la opción SAMPLING, la cual, por defecto, es de 2 segundos. Esta opción nos permite configurar cada cuanto tiempo queremos registrar los datos a obtener. El criterio para este proyecto será cada 30".

4.4_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL), el siguiente dato a configurar es la fecha. El primer valor corresponde al mes, el segundo al día del mes y el último corresponde al día de la semana (el primer día corresponde al domingo).

4.5_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL), configuramos el año.

4.2_ Siguiendo hacia la derecha (botón REL), configurar hh:mm:ss utilizando los botones verdes que contienen las flechas de selección.

4.6_Una vez que hayamos podido configurar todos estos datos, debemos apretar nuevamente y al mismo tiempo los botones REC y UNITS.

4.7_ Seleccionar con el botón UNITS la unidad de medición en Luxes

4.8_ Seleccionar con el botón RANGE/APO el rango de medición. (se recomienda que para el luxómetro ext. se utilice un rango de 400 KLux mientras que para el interior se deberá utilizar un rango de 40 KLux)

4.9_ Finalmente se debe apretar el botón REC **en ambos luxómetros a la vez**, hasta que en el visor titile el indicador MEM.

Es importante que el luego de este paso, el reloj quede en funcionamiento, es decir que los segundos avancen en el display. Si esto no sucede, probar sacándole la tapa al visor del luxómetro, muchas veces esta acción da paso a la activación del reloj.

6-Si a la hora de destapar el visor, el display indica "OL" significa que la medida está fuera de escala, por lo que, debemos con el botón RANGE/APO encontrar la escala que más se adecúe a nuestra medición (en niveles altos se utilizará Klux).

IMPORTANTE:

-A la hora de configurar ambos luxómetros, sincronizar los relojes de los display de manera que funcionen al mismo tiempo. Esto facilitará el rastreo de datos a futuro.

-Si en la parte inferior izquierda del display aparece un símbolo de batería, quiere decir que hay que cambiarla, es importante verificarlo ya que puede apagarse en la mitad de la medición.

-Cada Registrador tiene una capacidad de almacenaje de 16.000 datos. Si bien es una capacidad más que suficiente, es necesario verificar cuantos datos se van obteniendo a fin de que no se vean afectadas las futuras mediciones por saturación de datos en la memoria. Para ello, es muy importante chequear que el SAMPLING esté registrando cada 30 segundos (y no

cada 2 como viene por defecto). Si fuera necesario formatearlo, seguir los siguientes pasos:

- 4. Con el registrados apagado presionar y mantener el botón REC/SETUP.
 - 5. A continuación apretar el botón de encendido. Al hacerlo aparece en el display la palabra DEL que indica que se está formateando los datos.
 - 6. El registrador se enciende sin ninguna dificultad.
- Colocar el luxómetro №2 al interior de la caja, según la caja esté apoyada o inclinada el luxómetro irá sobre el piso de la caja (apoyada), en el perfil de aluminio paralelo a la protección (caja inclinada).

El luxómetro exterior se colocará en igual posición relativa que el luxómetro interior.

- 6. Colocación de hobo 8 al interior de la caja, solo registra temperatura.
- 7. Colocar hobo 3 exterior en lugar sombreado.
- 8. Colocación de la protección, asegurarse que los cables del piranòmetro y pirgeómetro no queden por delante de los instrumentos.
- 9. Colocación de madera superior donde se instalará el piranómetro.
- 10. Colocación del piranómetro exterior
- 11. Encendido del Logbox
 - a. Asegurarse que esté colocada la tarjeta de memoria SD
 - b. Enchufar la fuente al alargue
 - c. Encender el logbox con la perilla on-off, verificar que las luces roja y verde titilen. verificar luego de unos minutos de conectada que continúen titilando.

FIN DE LA MEDICIÓN

- 1. Registrar condiciones del cielo, fotografías y espejo convexo.
- 2. LOGBOX:

Apagar con la perilla on-off, sacar la tarjeta SD Desenchufar fuente y recoger el alargue.

3. LUXÓMETROS:

Apretar REC/SETUP, verificar que deje de titilar MEM en la pantalla. Apagar.

- 4. Retirar HOBOS
- 5. Luego de cada medición bajar con la tarjeta SD, registradores de luxometros, y HOBOS para descargar los datos.