

## **REVISIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES ÓPTICAS DE MATERIALES OPACOS Y TRANSPARENTES CON INSTRUMENTAL DE MEDIANO Y BAJO COSTO.**

**Noelia Alchapar<sup>1</sup>, Ayelén Villalba<sup>1</sup>, Erica Correa<sup>2</sup>, Andrea Pattini<sup>3</sup>.**

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Centro Científico y Tecnológico C.C.131 C.P. 5500 – Mdza.  
Tel. 0261-5244310 e-mail: nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar

*Recibido 17/08/18, aceptado 26/09/18*

**RESUMEN:** La presente investigación propone como objetivo general realizar una revisión de metodologías para la estimación de propiedades ópticas de materiales opacos y transparentes de la envolvente urbano-edilicia mediante técnicas que emplean instrumentación de mediano y bajo costo. Para ello, se analizaron un conjunto de métodos, recopilados de una revisión bibliografía nacional e internacional, que caracterizan distintas propiedades ópticas en diferentes rangos del espectro: albedo o reflectancia solar, transmitancia solar, transmitancia visible, reflectancia visible y emisividad térmica. Se concluye que las metodologías analizadas, adecuadas a instrumental de bajo costo y de acuerdo al contexto económico y tecnológico local, permiten caracterizar el comportamiento óptico de distintos tipos de materiales con un nivel de precisión aceptable. Aprovechar el instrumental disponible posibilitará en el corto y mediano plazo la generación de bases de datos a fin de proyectar con mayor certeza un hábitat energéticamente eficiente ajustado a la realidad regional.

**Palabras clave:** propiedades ópticas, metodologías, envolvente urbano-edilicia.

### **INTRODUCCIÓN**

El sector de la energía está actualmente en un periodo de cambio y reflexión. Las fuentes de energía convencionales son contaminantes y limitadas, por ello se hace imprescindible el rápido desarrollo de sistemas limpios y sostenibles. La IEA (Agencia Internacional de Energía) en su informe de fachadas energéticamente eficientes, sostiene que las envolventes edilicias -parte del edificio que conforma la barrera térmica y lumínica primaria entre el exterior y el interior- tienen un rol fundamental en determinar los niveles de confort térmico y visual y los consumos de energía para el acondicionamiento termo-lumínico de los espacios habitables. Siendo, uno de los puntos fundamentales avanzar en la disminución del consumo energético edilicio, es evidente la necesidad de disponer indicadores energéticos precisos que caractericen el comportamiento de los materiales y componentes de la envolvente urbano-edilicia (IEA, 2013).

Desde los gobiernos centrales, regionales y locales se está legislando para incentivar el uso de energías renovables en el hábitat construido. Este esfuerzo inversor, cuando está bien canalizado, lleva a las empresas a recurrir a la investigación para el desarrollo de materiales, componentes o sistemas que hagan viable económicamente el uso de estas nuevas tecnologías -mejora de eficiencia-. El análisis de materiales, los estudios orientados a las tecnologías endógenas, el desarrollo, la producción y las acciones de operación efectuadas sobre el hábitat humano enfrentan hoy un desafío particular: la necesidad de efectuar una caracterización precisa de sus propiedades físicas, químicas y ópticas según su contexto de uso, que permita hacer realidad parte de los preceptos desplegados a nivel teórico en el campo de los estudios para el desarrollo sustentable regional.

---

<sup>1</sup> Investigador Asistente CONICET

<sup>2</sup> Investigador Independiente CONICET

<sup>3</sup> Investigador Principal CONICET

En Argentina la afluencia de nuevos materiales en la industria de la construcción ha aumentado en la última década. Sin embargo, la información de las propiedades ópticas de los materiales disponibles localmente es muy limitada y, al mismo tiempo, la caracterización del material de construcción recientemente desarrollada tampoco es de dominio público. Para mejorar tanto la eficiencia energética de materiales y componentes de la construcción, como el aprovechamiento y uso racional de la energía derivado de la selección adecuada de los mismos es esencial que dicho conocimiento se genere y se difunda entre todas las partes interesadas -industria, comercio, usuarios, gobierno, sistema científico-. La generación de bases de datos de propiedades ópticas ajustadas a los materiales y tecnologías de uso nacional, mejora la predicción y el análisis de precisión del comportamiento energético a escala edilicia y urbana.

A nivel internacional la caracterización de materiales se realiza mediante equipamiento de alta gama -goniofotómetros, espectrómetros de amplio rango espectral, etc.-. Estos instrumentos se encuentran disponibles en escasos centros de investigación de vanguardia a nivel internacional. Sin embargo, la realidad económica nacional, dificulta la posibilidad de adquisición de este tipo de equipamiento que implica altos costos de compra y mantenimiento. Por lo tanto, resulta de fundamental importancia diseñar metodologías y/o técnicas de medición (adaptación de instrumental), para estimar propiedades ópticas de materiales y componentes de la envolvente, susceptibles de ser empleadas en la simulación energética urbano-edilicia. Aunque el empleo de simulación permite optimizar el desempeño energético tanto de componentes como de espacios, y el INAHE posee experiencia en distintos métodos de simulación de precisión energética a diferentes escalas -objeto, edilicia y urbana- (Alchapar y Correa, 2016; Alchapar et al, 2017; de Gastines et al, 2016; Monteoliva et al, 2017; Villalba et al, 2018; Balter et al, 2016), la utilidad y validez de los resultados de los modelos de predicción dependen de la calidad y exactitud de los datos de entrada -propiedades ópticas y térmicas de los materiales-.

En este marco, el presente trabajo propone como objetivo general realizar una revisión de metodologías para la estimación de propiedades ópticas de materiales opacos y transparentes de la envolvente urbano-edilicia con instrumental de mediano y bajo costo. El propósito es analizar las distintas posibilidades metodológicas e instrumentales, para la caracterización de propiedades ópticas. La hipótesis postula que el conocimiento y la adaptación de metodologías para la medición simplificada de las mismas, con rigurosidad técnica, ajustadas al contexto tecnológico, productivo, económico y social nacional permite efectivamente avanzar sobre la caracterización local de materiales de la envolvente fomentado el desarrollo de tecnologías y mejorando su eficiencia energética.

## METODOLOGÍA

A continuación se describen un conjunto de métodos, recopilados de una revisión bibliografía nacional-internacional, para la caracterización de distintas propiedades ópticas de acuerdo al rango del espectro para el que fue desarrollada la metodología. En la figura 1 se detallan las propiedades ópticas, rangos del espectro y tipos de materiales de los métodos que se especifican en el desarrollo del trabajo.

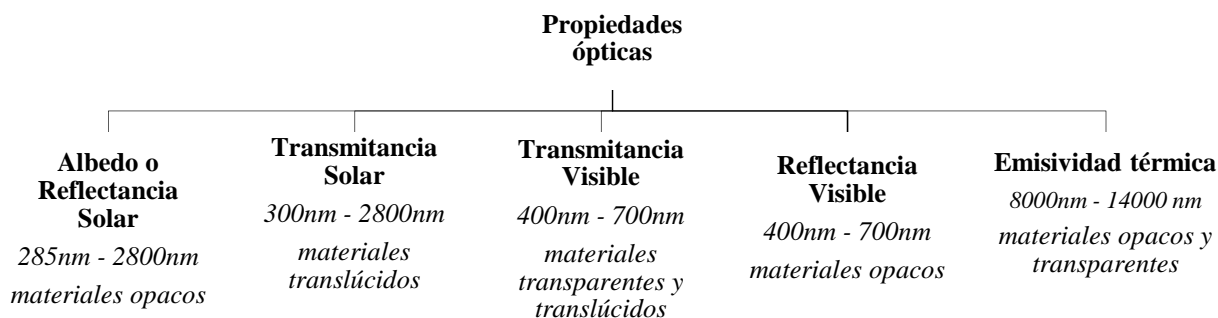


Figura 1: Propiedades ópticas, rangos del espectro y tipos de materiales de los métodos analizados.

## DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍAS

### *Albedo o Reflectancia Solar Global Hemisférica (285nm – 2800nm)*

#### *Akbari 2008 (Método variante E-1918A)*

El método de ensayo de la norma ASTM E1918 cubre la medición de la reflectancia solar de diversas superficies y materiales opacos horizontales y de poca pendiente en el campo, utilizando un piranómetro. Se aplica cuando el ángulo del sol respecto a la normal de una superficie es menor que 45° (ASTM E 1918, 2006). Sin embargo, la aplicación de esta norma es una metodología costosa, inconveniente y compleja de llevar a la práctica, debido a que establece que sólo se puede utilizar cuando la muestra a estudiar posee una superficie mayor a 10 m<sup>2</sup>, con una configuración de área cuadrada o circular. Es por ello que Akbari & Levinson (2008) desarrollaron un método variante denominado *E-1918A*. Este método variante establece el procedimiento para medir la reflectancia solar de un material sobre un área de 1m<sup>2</sup> mediante el uso de un piranómetro o albedómetro y un par de máscaras de color blanco y negro.

La irradiancia solar (potencia por unidad de área, en lo sucesivo, simplemente "radiación") que incide sobre el sensor de un piranómetro horizontal mirando hacia abajo, es un promedio ponderado de la radiación solar y de sus alrededores reflejada por unidad de área del objeto.

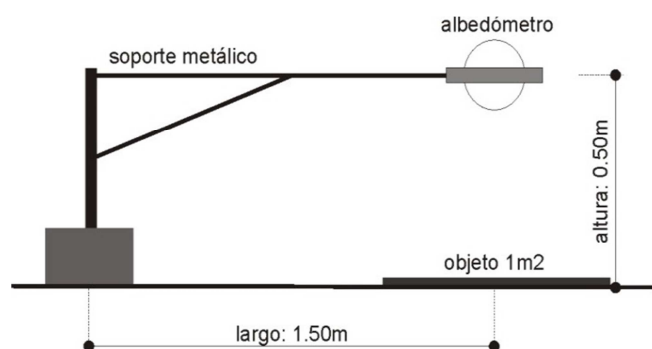
El método E-1918A determina la reflectancia de un área mediante tres mediciones consecutivas de radiación solar reflejada. En la primera configuración, denotada por el subíndice 1 ( $I_1$ ), el área de estudio está exactamente cubierta por una superficie opaca blanca. En la segunda configuración, denotado por el subíndice 2 ( $I_2$ ), el área está cubierta por una superficie opaca negra. En la tercera configuración, denotado por el subíndice 3 ( $I_3$ ), el área está descubierta.

Luego la reflectancia de la superficie está determinada a partir de la ecuación 1:

$$A_t = A_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (A_w - A_b) \quad (1)$$

*Donde,  $A_t$ : reflectancia solar de la superficie objetivo;  $A_w$ : reflectancia solar de la máscara blanca;  $A_b$ : reflectancia solar de la máscara negra medidos bajo la norma ASTM E 903;  $I_1, I_2, I_3$  son las irradiancias incidentes sobre el sensor del albedómetro en las configuraciones 1, 2 y 3.*

Al igual que en la norma ASTM E-1918 se utiliza un brazo de 1.5 m que sostiene el albedómetro sobre el centro de la zona de estudio, a una altura de 0.5 m. (Figura 2).



*Figura 2: Procedimiento para medir el albedo de materiales. (Fuente: Akbari & Levinson, 2008).*

Con respecto a la precisión de la instrumentación seleccionada se observa que utilizar un solo piranómetro para mediciones de albedo resulta económico, sin embargo introduce incertidumbres adicionales asociadas al cambio de posición del instrumento (Sailor et al., 2006). Por lo tanto, el empleo de un albedómetro (285 nm - 2800 nm) de clase I, tal como Kipp & Zonen tipo CM11, brinda mayor certeza. El albedómetro registra la radiación solar que se recibe sobre la superficie horizontal y la radiación solar reflejada simultáneamente.

### Transmitancia 300nm - 2800nm

Romero-Gómez et al. 2012

Romero-Gómez et al. (2012) proponen una metodología para determinar los valores de transmitancia a la radiación solar global, la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la radiación solar difusa bajo malla para distintos ángulos de incidencia, empleando un bastidor diseñado para tal efecto. Para poder determinar la transmitancia solar, a distintos ángulos de incidencia de la radiación solar directa sobre la superficie del material bajo estudio, los paneles donde se colocan las mallas son móviles (Figura 3). El recinto donde se ubican los sensores y la muestra es una estructura metálica rectangular, pintada en su interior de negro, que dispone de ruedas lo que permite orientar el bastidor donde se colocan las muestras hacia el sol en todo momento de acuerdo al ángulo de azimut del sol.

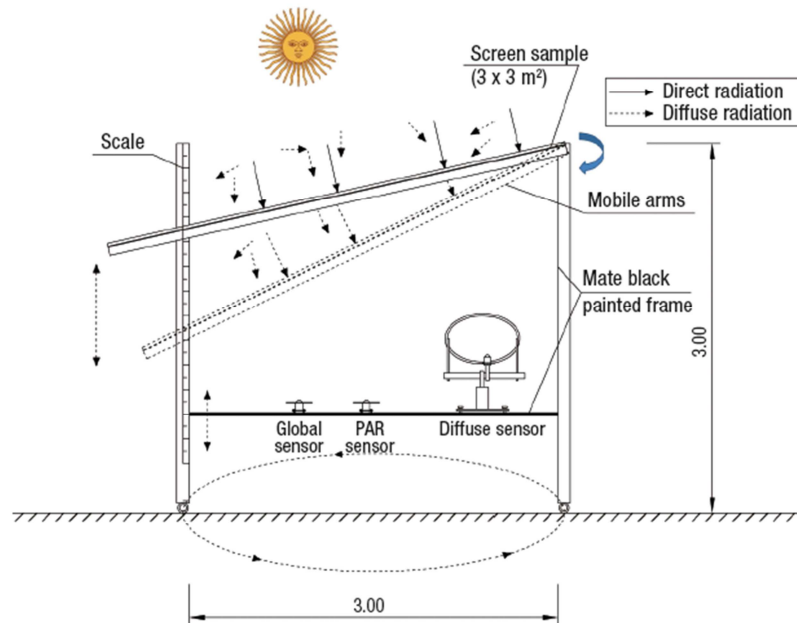


Figura 3: Esquema del dispositivo de medición de transmitancia solar. (Fuente: Romero-Gómez et al. 2012).

Para determinar la transmitancia solar de los materiales translúcidos se utilizaron un sensor de radiación global (tipo CM6B, Kipp & Zonen), un sensor PAR (tipo SKP215/S, Sky Instruments) y un sensor de radiación global con anillo de sombreado (tipo CM121B, Kipp & Zonen). Todos los sensores están conectados a un datalogger y registran valores medios cada 10 minutos. Los registros fueron realizados en un día con cielo claro en tres meses distintos entre las 8:00 y las 12:00 a.m. hora solar. La transmitancia de los tejidos se calculó mediante la relación entre los valores registrados por los sensores por debajo de las mallas y los valores medidos de manera simultánea en el exterior del recinto. Asimismo, se realizaron registros un día con cielo cubierto para calcular la transmitancia direccional-hemisférica ( $\tau_{d-h}$ ) de acuerdo a la ecuación 2 (Baille et al, 2003):

$$\tau_{d-h} = \frac{D^*}{E_{ext}} = (D_i - \tau_{h-h}D_o)/E_{ext} \quad (2)$$

Donde,  $D^*$  es radiación solar directa convertida en difusa por el sistema de sombreado ( $W/m^2$ );  $E_{ext}$  es la radiación solar global exterior ( $W/m^2$ );  $D_i$  es la radiación solar difusa debajo del sistema de sombreado;  $\tau_{h-h}$  es la transmitancia de la radiación solar difusa (equivalente a la transmitancia global en un día completamente nublado);  $D_o$  radiación solar difusa exterior.

### Transmitancia 400nm - 700nm

Fontoynt 1999

En su libro "Daylight performance of buildings" (1999) Fontoynt propone un conjunto de metodologías de caracterización en campo de materiales opacos y translúcidos en el rango visible.

Mediante los métodos propuestos determina la transmitancia normal-normal de vidrios no difusores y la transmitancia hemisférica-hemisférica de vidrios claros, con tratamiento de color y difusores. Los instrumentos requeridos para realizar estas mediciones son un luxómetro, que determina la cantidad de luz que llega a una superficie o iluminancia (lux) y un luminancímetro que permite cuantificar la luminancia ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) de una superficie desde un determinado punto de vista. El desarrollo de la descripción metodológica es relativamente simplificado.

La determinación de la transmitancia normal-normal ( $\tau_{nn}$ ) de un vidrio claro, se obtiene mediante la relación (ecuación 3) entre la luminancia de un objeto ubicado detrás del vidrio ( $L_{in}$ ), en dirección perpendicular al paño de vidrio, y la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección, sin el vidrio ( $L_{out}$ ).

$$\tau_{nn} = \frac{L_{in}}{L_{out}} \quad (3)$$

La transmitancia hemisférica-hemisférica ( $\tau_{hh}$ ) de un vidrio claro o translúcido se obtiene mediante el cálculo de la relación (ecuación 4) entre la iluminancia detrás del vidrio ( $I_{in}$ ) y la iluminancia delante del vidrio ( $I_{out}$ ), medidas bajo condiciones del cielo cubierto con un luxómetro.

$$\tau_{hh} = \frac{I_{in}}{I_{out}} \quad (4)$$

#### *NFRC 202 2010*

El propósito de la norma NFRC 202 “Procedimiento para la determinación de la transmitancia visible de los productos de aventanamiento translúcidos a incidencia normal” (NFRC, 2010) es especificar un método que permita determinar la transmitancia visible (TV) a incidencia normal de materiales planos y completamente difusos que se emplean en sistemas de aventanamientos. La TV es la proporción de radiación visible que ingresa a un espacio a través de un sistema de aventanamiento respecto de la radiación visible incidente, determinada como la transmitancia espectral del sistema de aventanamiento, respecto de la respuesta fotópica del ojo humano e integrada en un solo valor adimensional.

El aparato de medición consiste en una superficie de 1 m por 1 m recubierta con un material de baja reflectancia sobre la que se coloca el porta muestra (50 cm por 50 cm) (Figura 4). El tamaño de la muestra debe ser de 1 m por 1 m. El porta muestra está fijado a un sistema de guías que permite su desplazamiento vertical y horizontal. Los componentes mencionados se disponen sobre una estructura que permite su rotación de manera tal que se pueda posicionar la muestra normal a la incidencia de la radiación solar. El instrumental requerido es un sensor fotométrico cuyas características se detallan en la norma.



*Figura 4: aparato de medición con una muestra colocada en el porta-muestra. (Fuente: NFRC, 2010).*

La técnica empleada, se encuentra precisamente detallada en la norma NFRC 202-2010, en términos generales consiste en realizar registro de iluminancia con un medidor de luz ubicando la muestra en posición perpendicular respecto a la radiación solar incidente. Se realizan 11 registros de

iluminancia con la muestra aplicada –iluminancia cubierta-, desplazando la misma cada 2.5 cm en dirección vertical y horizontal. Simultáneamente se realizan registros sin la muestra colocada –iluminancia expuesta-, al comienzo, en un momento intermedio y a la finalización de la medición. El desplazamiento de la muestra tiene por finalidad registrar un valor de transmitancia ponderado de manera sistemática. Los registros se deben realizar en condiciones de cielo claro estable. Finalmente se calcula la TV del producto como un promedio de la relación entre los registros (N) de iluminancia cubierta ( $V_{covered}$ ) e iluminancia expuesta ( $V_{exposed}$ ) (ecuación 5).

$$TV = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{V_{covered(i)}}{V_{exposed(i)}}}{N} \quad (5)$$

### Reflectancia 400nm – 700nm

#### Fontoynt 1999

Además de la metodología propuesta para la medición de la transmitancia, Fontoynt (1999), propone métodos para la cuantificación de la reflectancia de materiales bajo condiciones de luz difusa y la reflectancia especular a distintos ángulos para espejos. El instrumental empleado para la caracterización es un luminancímetro.

La reflectancia hemisférica-hemisférica de materiales se calcula mediante las ecuaciones 6, 7 y 8, a partir del registro de la luminancia de la superficie, cuya reflectancia se desea calcular, y de las luminancias de una cartilla de referencia blanca y una gris – de reflectancia conocida-, ambas mediciones se realizan in-situ con luminancímetro. Las condiciones de iluminación para realizar este registro deben ser lo más difusas posibles.

$$\rho_1 = \rho_{blanca} * \frac{L_{superficie}}{L_{blanca}} \quad (6) \quad \rho_2 = \rho_{negra} * \frac{L_{superficie}}{L_{gris}} \quad (7) \quad \rho_{hh} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \quad (8)$$

Finalmente la reflectancia especular ( $\rho_s$ ) para un determinado ángulo, se caracteriza mediante el registro de la luminancia de la superficie especular ( $L_r$ ) comparada con la reflectancia de la fuente de luz ( $L_s$ ), vista desde la muestra (ecuación 9).

$$\rho_s = \frac{L_r}{L_s} \quad (9)$$

#### Mardaljevic 2015

La metodología propuesta por Mardaljevic et al. (2015) permite determinar la reflectancia de superficies difusas bajo condiciones de iluminación reales. La técnica se basa en imágenes de alto rango dinámico (HDR del inglés High Dynamic Range) (Inanici, 2006). Los pixeles de las imágenes de alto rango dinámico contienen datos de luminancia equivalentes a aquellos que se pueden medir punto por punto utilizando un luminancímetro. Es posible crear imágenes de alto rango dinámico con cámaras digitales comunes a partir de múltiples exposiciones. Las imágenes se componen y analizan en softwares con Photosphere, HDR Scope y Radiance. Con una calibración adecuada, realizando una medición puntual con luminancímetro, la exactitud de los valores de luminancia en una imagen HDR es de entre un 10% y un 20%. Estos valores de luminancia se utilizan para calcular la reflectancia promedio o punto por punto de una superficie. De manera simplificada los datos de la imagen HDR se utilizan para resolver los valores de reflectancia (ecuación 10). Asimismo esta técnica permite determinar la reflectancia difusa media ponderada de una superficie (AWMR area-weighted mean reflectance (ecuación 11)) mediante el empleo de imágenes HDR.

$$\rho = \frac{\pi L}{E} \quad (10) \quad \rho_w = \frac{a_1 \rho_1 + a_2 \rho_2 + \dots + a_n \rho_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (11)$$

La metodología propuesta considera que los siguientes supuestos se verifican:  
 -las imágenes son tomadas normal a la superficie  
 -el acabado de la superficie no tiene una componente especular significativa.

-la iluminación que incide sobre la superficie analizada no presenta acentuados gradientes, es decir que es homogénea.

La principal limitación de esta técnica es que para superficies texturadas la condición de reflectancia difusa no aplica estrictamente debido a que la luminancia de la superficie en cualquier punto va a depender de la dirección y la magnitud de la iluminación incidente (Ward, 1992).

#### *Emisividad térmica para superficies opacas 7500nm - 14000 nm*

*ASTM E1993-06 “Método de prueba estándar para medir y compensar la emisividad usando radiómetros de imágenes infrarrojas”*

Este método de prueba cubre los procedimientos para medir y compensar la emisividad de un material opaco, a través del registro de temperatura superficial de la muestra con un radiómetro de imagen infrarroja. El método emplea un sensor de temperatura (termocupla tipo T) asociado a un data logger tipo “Hobbo U12”, el mismo se programa en registros de medición de temperatura superficial en intervalos de 2 minutos. El valor del flujo radiante emitido por el material es comparado con el dato que registra un termómetro tipo IR Fluke 568 con ajuste de emisividad. De modo tal que la emisividad del material corresponde a aquella que hace coincidir la temperatura de la termocupla con la del termómetro IR.

Cabe destacar que algunas superficies pulidas y metales brillantes son tan reflectantes en el infrarrojo que las mediciones de temperatura precisas no son posibles, lo que invalida la aplicación de este método de compensación con termómetro IR para superficies predominantemente especulares, tales como la membrana de aluminio. Sumado a que el dato brindado puede incurrir a errores derivados de los posibles reflejos/sombras de las superficies circundantes.

#### *Emisividad térmica para superficies especulares 8000nm - 14000 nm*

*Flores Larsen y Hongn 2012*

Flores Larsen y Hongn (2012) proponen una metodología experimental que estima la reflectancia especular en el rango del IR lejano a distintos ángulos de incidencia para muestras especulares de aluminio y vidrio, mediante la utilización de una cámara termográfica. El método de medición es sencillo y describe de manera aceptable el comportamiento de la reflectancia en el rango infrarrojo lejano. Es importante resaltar que el método es válido sólo para muestras cuyas superficies sean lisas (reflexión especular).

La instrumentación utilizada es una cámara infrarroja y un calibrador IR como fuente de radiación. La cámara infrarroja tipo IR Fluke Ti 55 detecta la radiación infrarroja de onda larga en el rango de 7.5 a 14  $\mu\text{m}$  dentro del espectro electromagnético.

La fuente de radiación tipo calibrador de IR marca Hart Scientific modelo 9132 permite contar con una superficie difusa circular de 57 mm de diámetro a temperatura uniforme y controlada. El uso de una fuente no puntual con una distribución uniforme de temperatura contribuye a obtener medidas de mayor calidad. Las temperaturas de trabajo son 50°C y 100°C, las cuales permiten contar con niveles de radiación superiores a los producidos por el entorno, utilizar el primer rango de calibración del termógrafo (minimizando los errores de medida, del orden del 2%) y asegurar que la mayor cantidad de energía del espectro de emisión del cuerpo negro caiga dentro del rango de medida de la cámara (8 a 14  $\mu\text{m}$ ).

La metodología consiste en tomar dos imágenes termográficas, una de la fuente y la otra de su reflejo en la superficie especular. En primer lugar se ajusta la fuente para que alcance una temperatura determinada mayor que la temperatura ambiente y menor a 100°C y luego que ésta se estabiliza, se ubica la cámara enfrentada a la fuente y se registra la imagen. Para ajustar los parámetros de la cámara se utilizan como temperatura de fondo la temperatura ambiente registrada por el termómetro y la emisividad provista por el fabricante de la fuente.

A continuación se coloca la muestra reflectante en el vértice principal de un triángulo isósceles (Figura 5). De manera casi instantánea, para minimizar la absorción de calor por parte de la muestra y evitar su incremento de temperatura, se registra la imagen termográfica del reflejo del cuerpo emisor sobre la muestra reflectora.

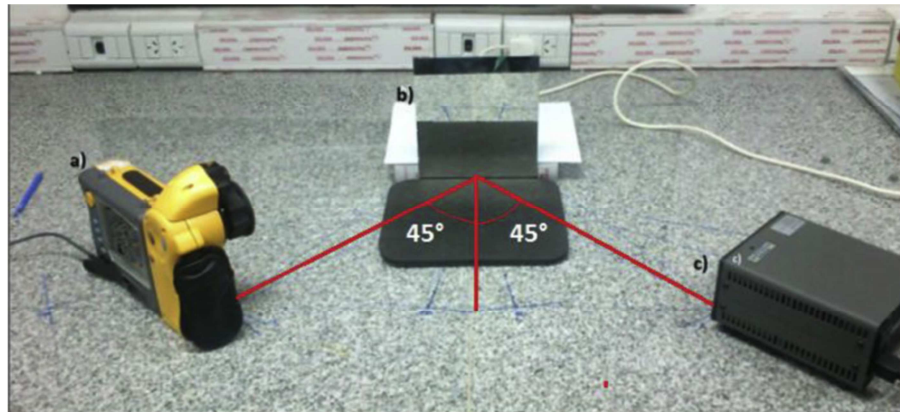


Figura 5: Configuración experimental. (a) Cámara termográfica, (b) Muestra especular, y (c) Fuente de radiación infrarroja (Fuente: Larsen y Hongn 2012).

Una vez obtenidas ambas imágenes, se determina mediante el software SmartView la temperatura de la fuente y del reflejo realizando un promedio a través de un perfil lineal de temperatura. Con el dato de temperaturas de la fuente y del reflejo, se obtiene la reflectancia de la muestra mediante el cálculo de la ecuación 12:

$$\rho = \frac{\varepsilon' [S_0(T_r) - [S_0(T_r)]]}{\varepsilon' [S_0(T_r) - [S_0(T_r)]]} \quad (12)$$

Donde,  $\varepsilon'$  emitancia de la cámara infrarrojos cuando fue medida;  $S_0(T)$  señal producida por la cámara infrarroja (V);  $T_r$ : temperatura aparente de la fuente reflejada en objetivo;  $\rho$ : reflectancia medida.

Para minimizar los errores sistemáticos que puedan introducirse en las medidas, es importante tomar los siguientes recaudos: ajustar correctamente el foco de la cámara antes de tomar la imagen, que las superficies de las muestras a ensayar se encuentren limpias, mantener el lugar a una temperatura estable, evitar la presencia de otras fuentes a mayor temperatura y evitar corrientes de aire.

## CONCLUSIONES

Este trabajo realiza una revisión en torno a metodologías para la caracterización óptica de materiales mediante técnicas que emplean instrumentación de mediano y bajo costo. En términos generales podemos concluir que este conjunto metodologías bajo costo nos permite caracterizar el comportamiento óptico de distintos tipos de materiales en distintos rangos del espectro (visible-solar-NIR-FIR) con un nivel de precisión aceptable. Esto es de fundamental importancia para la producción de conocimiento en el ámbito del comportamiento óptico de los materiales y componentes utilizados regionalmente. Aprovechar el instrumental disponible de acuerdo al contexto económico y tecnológico local, posibilitará en el corto y mediano plazo la generación de bases de datos a fin de proyectar con mayor precisión el diseño de un hábitat energéticamente eficiente.

Sin embargo, las metodologías expuestas presentan una serie de limitaciones. En primer lugar, no permiten realizar el análisis de un material a lo largo del espectro total diferenciado por longitud de onda, como lo puede efectuar un espectrómetro de amplio rango. En segundo lugar, a medida que avanzamos hacia edificios de alta eficiencia energética es cada vez más importante modelar con mayor precisión no sólo la cantidad sino también la dirección del flujo radiativo transmitido o reflejado por



una envolvente. El análisis y la caracterización unidireccional, más frecuentemente observado en las metodologías analizadas en este trabajo, pueden conducir a interpretaciones equívocas del comportamiento óptico de un material. Asimismo, resulta pertinente destacar que existe un desarrollo más reducido de técnicas para la caracterización de propiedades ópticas de materiales especulares, debido a que la complejidad de la distribución no homogénea de reflectancia que presentan estos materiales es de difícil cuantificación.

Como trabajo futuro se propone avanzar en el desarrollo y adaptación de metodologías que emplean instrumental de bajo y medio costo, mediante diferentes estrategias como por ejemplo la extensión del rango de análisis espectral mediante el empleo de un detector sensible a otras longitudes de onda del espectro y el uso de fuentes que emitan en el rango deseado. Este tipo de estudios son de fundamental importancia debido a que en los últimos años se ha focalizado en el análisis de la transferencia de calor postergando la investigación en la caracterización óptica solar de los materiales.

## REFERENCIAS

- Akbari H., Levinson R. y Stern S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy* 82, 7, 648-655.
- Alchapar N. y Correa E. (2016). The use of reflective materials as a strategy for urban cooling in an arid "oasis" city. *Sustainable Cities and Society* 27, 1-14.
- Alchapar N., Pezzuto C., Correa E. y Labaki L. (2017). Impact of cooling strategies on urban temperatures in warm climates cities. The case of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. *Theoretical and Applied Climatology* 135-50.
- ASTM E 1933 – 99a (1999). Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers.
- ASTM E 903-96. (1996). Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E1918-97/06 Standard. (2006). Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field.
- Baille A., Gonzalez-Real M. M., López J. C., Cabrera J. y Pérez-Parra J. (2003). Characterization of the solar diffuse component under "parral" type greenhouses. *SHS Acta Horticulturae* 614: VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation. Pp: 341-346.
- Balter J., Ganem C. y Discoli C. (2016). On high-rise residential buildings in an Oasis-city: thermal and energy assessment of different envelope materiality above and below tree canopy. *Energy and Buildings* 113, 61-73.
- de Gastines M. M., Villalba A. y Pattini A. (2016). Improved model for the thermal performance calculation of non-planar window frames for building simulation programs. *Journal of Building Performance Simulation* 9, 6, 633-647.
- Flores Larsen S. y Hongn M. (2014). Determining the infrared reflectance of specular surfaces by using thermographic analysis. *Renewable Energy* 64, 306-313.
- Fontoynt M. (1999). Daylight performance of buildings. James and James, London.
- Inanici M. N. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research and Technology* 38, 2, 123–134.
- International Energy Agency (IEA). (2013). Technology Roadmap Energy Efficient Building Envelopes. Paris, France.
- Mardaljevic J., Brembilla E. y Drosou, N. (2015). Illuminance-proxy high dynamic range imaging: a simple method to measure surface reflectance. Presented at: The 28th Session of the International Commission on Illumination (CIE 2015), 28th June-4th July 2015, Manchester.
- Monteoliva, J.M., Villalba, A. y Pattini, A.E. (2017). Variability in dynamic daylight simulation in clear sky conditions according to selected weather file: Satellite data and land-based station data. *Lighting Research & Technology* 49, 4, 508 – 520.
- NFRC 202. (2010). Procedure for Determining Translucent Fenestration Product Visible Transmittance at Normal Incidence. National Fenestration Rating Council Incorporated.

- Romero-Gómez M., Suárez-Rey E. M., Castilla N. y Soriano T. (2012). Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2, 306-313.
- Sailor D., Resh K. y Del Segura K. (2005). Field measurement of albedo for limited extent test surfaces. *Solar Energy* 80, 5, 589-599.
- Villalba A., Monteoliva J. M., Rodríguez R. y Pattini A. (2018). A dynamic performance analysis of passive sunlight control strategies in a neonatal intensive care unit. *Lighting Research & Technology* 50, 2, 191 – 204.
- Ward G. J. (1992). Measuring and modeling anisotropic reflection. SIGGRAPH '92: Proceedings of the 19th annual conference on computer graphics and interactive techniques, New York, NY, USA: ACM Press. Pp. 265–272.

### **Agradecimientos**

- PICT-2017-3248: VALORACIÓN ENERGÉTICA Y AMBIENTAL DE LOS ESPACIOS URBANOS EN CIUDADES DE ZONAS ÁRIDAS. GENERACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CALIFICACIÓN Y EVALUACIÓN PREDICTIVA. Titular: Correa Cantaloube, Erica.
- PICT 2017-1088: SISTEMAS DE CONTROL SOLAR INTERIORES: CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA E IMPACTO EN LA CALIDAD DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EDIFICIOS NO RESIDENCIALES. DESARROLLO DE DISEÑOS INNOVATIVOS. Titular: Villalba, Ayelén.
- PICT 2016-1487. MANEJO DE LA RADIACIÓN SOLAR PARA ILUMINAR EL HÁBITAT. DISEÑOS, MATERIALES Y MÉTODOS DE IMPACTO ENERGÉTICOS Y NO ENERGÉTICOS. Titular: Pattini, Andrea.

### **ABSTRACT**

The current investigation proposes as its general objective to conduct a review of methodologies for the estimation of the urban-building envelope opaque and transparent materials optical properties through techniques that employ medium and low cost instrumentation. To this end, a set of methods, compiled from a national and international bibliography review, which characterize different optical properties in different ranges of the spectrum, was analyzed: albedo or solar reflectance, solar transmittance, visible transmittance, visible reflectance and thermal emissivity. It is concluded that analyzed “low cost” methodologies, suitable to available instrumentation and according to the local economic and technological context, enables characterizing optical behavior of different types of materials with acceptable accuracy. Taking advantage of the available instrumentation will enable the generation of databases in the short and medium term, in order to design buildings an energy-efficient habitat adjusted to the regional reality.

**Keywords:** optical properties, methodologies, urban and building envelope.