

MEDIDAS DE REFLECTANCIA ESPECTRAL PARA ESPEJOS UTILIZADOS EN LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Marcos Hongn⁽¹⁾ y Silvana Flores Larsen⁽²⁾

INENCO – Universidad Nacional de Salta – CONICET - Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina

Tel. 0387-4255424 – Fax: 0387-4255389

Email: marcoshongn@gmail.com

Recibido 14/08/14, Aceptado 27/09/14

RESUMEN: En el presente trabajo se lleva a cabo una metodología experimental para determinar valores de reflectancia especular en el espectro (450nm a 1650nm) para muestras de espejos diferentes. Dos muestras de 2 y 3mm de espesor, cuyos soportes de vidrio son muy similares en cuanto a calidad (mismo fabricante) y una muestra de 4mm de espesor con un sustrato de vidrio con bajo contenido de hierro. Los ensayos se realizaron para diferentes ángulos de incidencia, desde 10° hasta 70°. La presencia del óxido de hierro en el vidrio absorbe energía en el rango IR, esto se traduce en una mejor performance óptica por parte del espejo con vidrio “blanco”. Si bien hay una disminución en la reflectancia del material con el ángulo de incidencia, la misma ocurre a través de una pendiente pequeña. Considerando valores promedio en el espectro de medida, la muestra de 4mm presentó reflectancia entre 94 y 90% para el rango de ángulos de incidencia mencionado, la muestra de 2mm valores entre 82% y 79%, y el espejo de 3mm de espesor entre 80% y 77%.

Palabras clave: Reflectancia especular espectral, Concentración de energía solar, superficies espejadas.

INTRODUCCIÓN

En los reflectores solares para aplicaciones de energía solar de concentración, la cantidad de luz solar reflejada hacia el receptor es uno de los aspectos más importantes del sistema. Esta cantidad depende tanto de factores geométricos y de control (trayectoria aparente del sol, geometría de la planta termo-solar, precisión del sistema de seguimiento, orientación de los espejos, etc.) como de las propiedades ópticas del reflector. La calidad óptica del reflector se caracteriza mediante su nivel de especularidad y por su reflectancia en el espectro solar, siendo la durabilidad y el costo factores que también deben ser tenidos en cuenta al momento del diseño (Meyen et al., 2010).

La especularidad, de la cual depende el nivel de dispersión del haz reflejado, se relaciona con las micro-imperfecciones de la superficie reflectante causadas por la micro-rugosidad, la suciedad, la acumulación de polvo y las micro-fisuras, entre otras. El perfil de especularidad de algunos reflectores, tales como espejos (soportes de vidrio con película reflectora plateada), es muy estrecho y puede ser adecuadamente descrito por una distribución Gaussiana circular, con una desviación pequeña. Otros reflectores proporcionan un mayor reto para la caracterización de especularidad porque la distribución del haz reflejado es más compleja (anisotrópica). La investigación acerca de estos diferentes comportamientos en reflectores se viene llevando a cabo desde hace varios años (Pettit, 1977 y Susemihl, 1987).

La reflectancia especular, para el ancho de banda solar, es un parámetro fundamental para caracterizar la calidad y la eficiencia de los reflectores solares (Meyen et al., 2010). Esta se define como la fracción de radiación solar incidente reflejada dentro de un ángulo de aceptación medio, usualmente 20mrad. Debido al auge de los sistemas solares de concentración, en los últimos años se han propuesto diversos métodos para estandarizar las medidas de reflectancia en reflectores solares.

Meyen *et al.* (2010) proponen una estandarización mediante ensayos de inter-laboratorio. El método propuesto incluye medidas de reflectancia hemisférica mediante la utilización de esferas integradoras y medidas de reflectancia especular mediante fuentes de luz monocromáticas, según los lineamientos de SolarPACES (2011). En dicho trabajo participaron tres entidades importantes como son DLR (German Aerospace Center), CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y NREL (National Renewable Energy Laboratory, EEUU), los cuales caracterizaron nueve tipos de muestras distintas: mayormente superficies espejadas con soportes de vidrio de diferentes calidades y espesores y superficies metálicas espejadas. Montecchi (2013) describe un nuevo método basado en medidas de reflectancia a incidencia cuasi-normal, hemisférica (mediante esfera integradora) y cuasi-especular (para varios ángulos de aceptación). Las medidas de reflectancia se realizaron a 405.5, 543.5 y 632.8 nm y a partir de ellas se estimó su comportamiento para el rango solar y para distintos ángulos de incidencia, utilizando un modelo óptico simplificado. Los ensayos se realizaron en dos espejos laminados y en uno tradicional. Finalmente, Zhu *et al.* (2014) proponen un procedimiento detallado para la medición de la reflectancia solar promedio del campo reflector de un sistema concentrador, utilizando un modelo de reflectancia especular que incluye la reflectancia especular total y el perfil de especularidad del espejo. El modelo es aplicado a una planta solar del tipo cilindro parabólicos Nevada Solar One (NSO).

⁽¹⁾ Becario Doctoral CONICET

⁽²⁾ Investigador Adjunto CONICET

La mayoría de los modelos y las metodologías de medición propuestas por la bibliografía utilizan luz monocromática para luego extender los resultados a todo el espectro solar, o bien tienen una complejidad considerable. No se ha encontrado en la literatura referencias a mediciones espectrales en el rango solar de muestras de espejos y sus variaciones directas con el ángulo de incidencia. Es por ello que en el presente trabajo se aborda el estudio experimental de la reflectancia especular de vidrios espejados utilizados en aplicaciones solares. Se utilizaron dos espectroradiómetros con distintos rangos (un UV-VIS-NIR de 400 a 1100nm y un SNIR de 900 a 1700nm) para caracterizar muestras planas de distintos espesores y calidades de vidrio. Las curvas experimentales encontradas permiten evaluar y comparar el comportamiento óptico de los diferentes tipos de soportes de vidrio empleados en espejos comerciales.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La reflectancia especular $\rho_{\lambda,\theta}$ a un ángulo θ y a una longitud de onda λ , se define como el cociente entre la irradiancia reflejada $I_{ref}(\lambda, \theta)$ e incidente $I_{inc}(\lambda, \theta)$:

$$\rho_{\lambda,\theta} = \frac{I_{ref}(\lambda, \theta)}{I_{inc}(\lambda, \theta)} \quad (1)$$

Los dispositivos utilizados para medir la radiación incidente y reflejada fueron un espectroradiómetro LICOR modelo: LI-1800 (400-1100nm, resolución de 2nm) y un espectrofotómetro Control Development SNIR 1645 (900-1700nm, con resolución de 1nm).

Las muestras de espejo ensayadas (de 7cm x 7cm) fueron:

- Espejo de 2mm de espesor con soporte de vidrio tradicional
- Espejo de 3mm de espesor con soporte de vidrio tradicional
- Espejo de 4mm de espesor con soporte de vidrio con bajo contenido de hierro

Para conseguir la variación del ángulo de incidencia se montó la muestra de espejo sobre un goniómetro de precisión, sostenida sobre un porta-muestra para garantizar la verticalidad de la misma. De acuerdo al espectroradiómetro utilizado, el ensayo se dividió en dos etapas:

Ira Etapa: medidas con LICOR-1800 (400-1100nm)

En primer lugar se utilizó el LI-1800 para el registro de la energía incidente y la reflejada por el espejo. Se incluyeron también componentes de la esfera integradora LI1800-2, tales como la fuente emisora de luz (LI1800-12) y la fibra óptica de 2mm de diámetro (LI1800-10). Los elementos utilizados en ambas etapas pueden observarse de la Figura 1. El software del LI-1800 se corre en MS-DOS de Windows y se requiere una PC con puerto paralelo.

Las características de la fuente son las siguientes:

- Lámpara: 6V, 10 Watt – Tipo: vidrio-halógena
- Tamaño: 5cm diámetro x 20cm largo.



Figura 1. Instrumental utilizado para las mediciones de reflectancia de espejos, a) para la etapa 1 y b) para la 2da etapa.

Para acoplar la fibra óptica al goniómetro se fabricó una pieza especial mediante la utilización de un torno. Esta pieza permite fijar la posición de la boca de entrada de la fibra a una determinada altura aportando rigidez al dispositivo durante el ensayo. Si bien la fibra óptica está embutida en un cable robusto donde el diámetro de la fibra es de aproximadamente 2mm, es muy importante evitar sus movimientos para disminuir el error experimental, ya que la misma se encuentra en el brazo móvil del

goniómetro. Para evitar desplazamientos del goniómetro debido al movimiento de uno de sus brazos y de la plataforma donde está ubicada la muestra, se fijaron sus patas a la mesada del laboratorio mediante silicona.

Es importante la alineación de todo el sistema de medida. Debió calibrarse el 0° y la linealidad de la plataforma donde se encontraba la muestra, con la lámpara emisora ubicada a una distancia aproximada de 6.5 metros (la mayor distancia posible dentro del laboratorio), para lograr mayor paralelismo en los haces de luz. Todo el alineamiento y la puesta a 0° de la plataforma (que define la exactitud con que se determina el ángulo de incidencia) se llevó a cabo mediante un dispositivo láser (Fig. 1a) que emite un plano vertical de luz monocromática. Este plano permitió realizar la correcta alineación de la posición del goniómetro, ubicar la posición de la plataforma y marcar el centro de la misma para determinar la posición exacta de la muestra sobre dicha plataforma. A continuación, se alineó la fuente de luz con el goniómetro, mediante la minimización de la proyección de sombra de un elemento opaco de escaso espesor. De esta manera, se logró que la posición de la muestra, ubicada en el centro de la plataforma móvil, se encontrara “calibrada” y alineada con los haces de luz incidentes. El extremo de la fibra óptica, que colima los haces de luz para dirigirlos hacia el sensor, se ubicó a la misma altura de la fuente emisora.

Para iniciar las series de medida, se registra la distribución energética de los haces incidentes. Para ello se coloca la fibra óptica en dirección normal a los haces provenientes de la fuente luminosa. El archivo obtenido contiene valores de irradiación espectral para el rango de 400 a 1100nm, con una resolución de 2nm y se almacena dentro de un banco de datos del espectrorradiómetro.

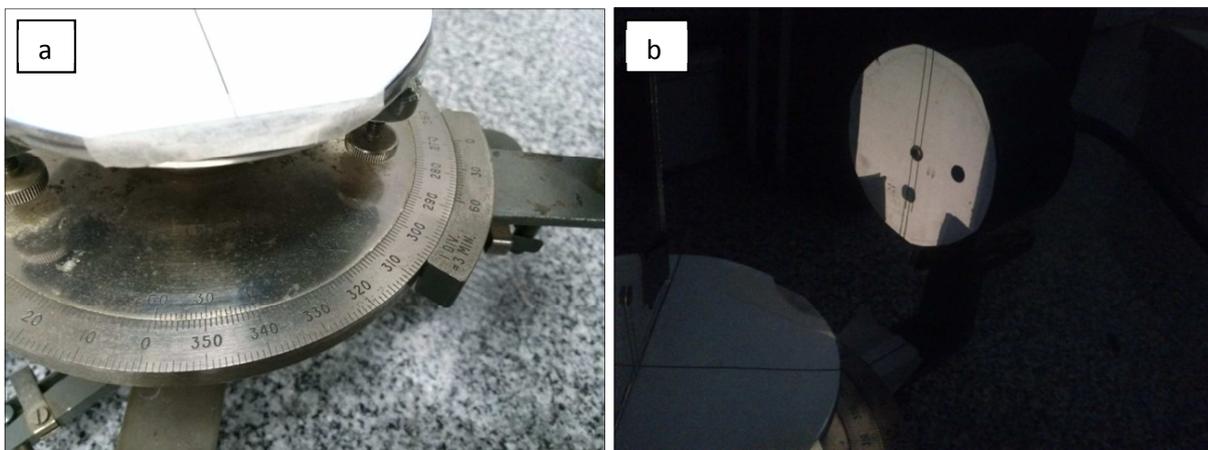


Figura 2: a) Escala angular del goniómetro de precisión, incluye Bernier. En b) se observa el posicionamiento del sensor, mediante el sombreado de indicadores sobre la muestra, para registrar la medida.

La muestra requiere de un indicador en su superficie para posicionar el sensor de forma que capte los haces reflejados por el punto central del espejo, como se muestra en Figura 2b. Luego, se registran las medidas de la irradiancia reflejada por la muestra, variando el ángulo de incidencia. Las medidas se toman para ángulos de incidencia entre 10° y 70° a intervalos de 10° . El centro de la plataforma móvil debe encontrarse alineado con el centro de la muestra (véase Figura 3).

2da Etapa: medidas con SNIR-1645 (900 a 1700nm)

El montaje de los elementos utilizados en esta oportunidad es similar al ya descrito. No hay cambios con respecto a la fuente luminosa, calibración y alineación a 0° del goniómetro. Aunque fue necesario realizar modificaciones sobre la metodología de medición ya que si bien ambos sensores utilizan fibra óptica para colimar los haces de luz hacia los espectrómetros, son dos fibras de características diferentes.

En este caso, el SNIR-1645 permite medir propiedades ópticas como transmitancia-reflectancia mediante cubas especiales (cuvette holder) con diferentes configuraciones de entradas y salidas para fibra óptica, aunque las medidas se limitan a incidencia normal y a 45° . Para extender el rango de medida para varios ángulos de incidencia se adaptó el sistema usado en la etapa 1. Para una cuba-soporte (marca Newport) fue acoplada en el brazo móvil del goniómetro, como se observa en la Figura 3b, la cual posee cuatro entradas para diferentes configuraciones de medida.

Debido al escaso diámetro de la fibra óptica utilizada por este espectrofotómetro (aproximadamente $600\mu\text{m}$), resulta muy difícil adaptar otro dispositivo para fijar el sensor óptico al brazo móvil. Al ingresar los haces reflejados por la muestra a través del puerto de entrada (puerto frontal) deben atravesar dos lentes colimadores para ser captados, luego, por la fibra óptica del sistema. Esto permite realizar medidas comparativas mediante un haz de luz incidente normal al sensor y haces reflejados por las muestras cuando los mismos inciden a diferentes ángulos. Sin la presencia de los lentes colimadores de la

cuba Newport no sería posible la captación de la irradiancia suficiente para ser detectada por el sensor, debido a la dispersión de los haces al reflejarse.

Una vez instalada la cuba con la fibra óptica sobre el brazo del goniómetro, el proceso de medición es análogo al descrito con anterioridad. Es importante la precisión en la posición del sensor al registrar los valores de irradiancia reflejados.

El SNIR1645, mediante su software correspondiente, permite la medición casi instantánea de la irradiancia espectral registrada. El equipo permite visualizar y almacenar, cuando se requiere, directamente valores de $\rho_{\lambda,\theta}(\%)$, previo al registro de la señal de referencia (irradiancia incidente). La desventaja de este equipo es la sensibilidad a los movimientos por parte de la fibra óptica, por lo que los datos obtenidos presentan mayor ruido que con el LI-1800.

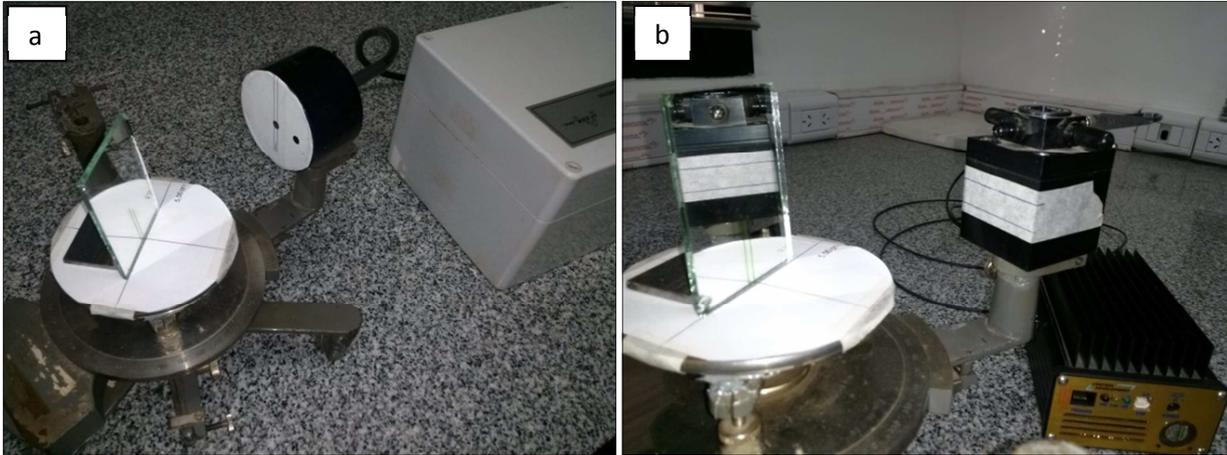


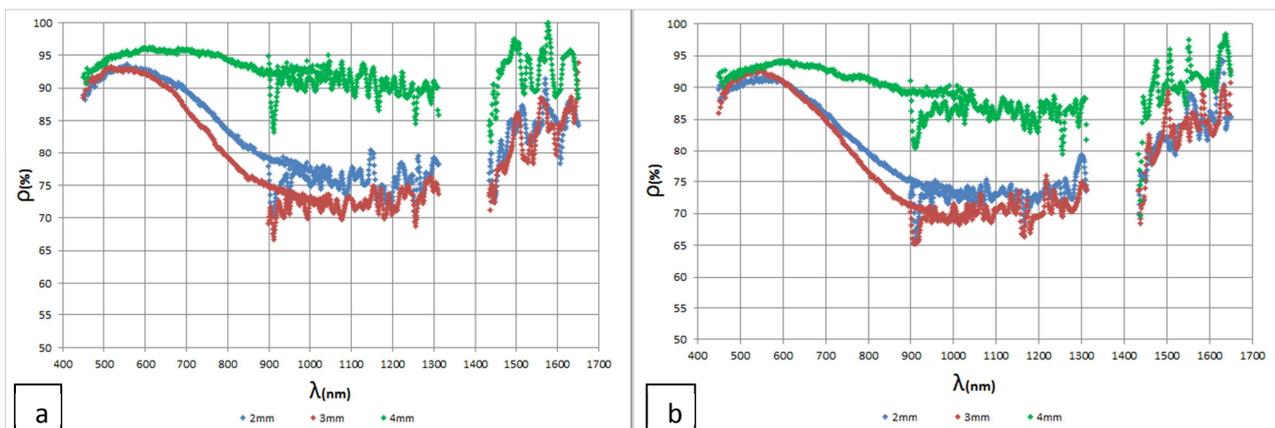
Figura 3: Montaje de los sistemas de medición, en a) para la 1ra etapa y en b) para la 2da etapa.

RESULTADOS

Reflectancia espectral y promedio

Como se mencionó con anterioridad, las medidas de reflectancia espectral ρ_{λ} fueron realizadas para ángulos de incidencia de 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , 60° y 70° bajo condiciones de laboratorio y con la superficie de las muestras de espejos totalmente limpias. La figura 4 muestra los valores medidos de $\rho_{\lambda}(\%)$ en función de la longitud de onda λ para ángulos de incidencia de 20° y 60° , para las tres muestras ensayadas. Las dos regiones de sensado, correspondientes a los dos espectrómetros, se encuentran bien diferenciadas. Los registros del LI-1800 corresponden a medidas más uniformes barriendo el rango [450 – 1050 nm], mientras que el SNIR-1645 presenta valores con mayor dispersión en el rango [900 – 1650 nm]. La diferencia en cuanto a la suavidad de las curvas de datos puede deberse a los diferentes tiempos de integración de cada equipo. Por otra parte, la falta de medidas en la zona comprendida entre los 1320-1420nm se debe a que los datos en este rango se descartaron por presentar oscilaciones que hicieron salir de rango al equipo.

Los resultados muestran que, para un ángulo de incidencia de 20° , la muestra de vidrio blanco de 4mm es la que presenta los mayores valores de reflectancia. Este material alcanza un máximo de 95% en la zona del visible y un valle en el infrarrojo cercano en el que los valores caen hasta 90%. Las muestras de 2 y 3mm presentan un comportamiento similar, con máximos ligeramente menores en el visible (de alrededor de 92%) y caídas más pronunciadas en el infrarrojo cercano (alcanzando 76 y 72% respectivamente). Para ángulo de incidencia de 60° (Figura 4b) el comportamiento es semejante al descrito, pero con valores de reflectancia ligeramente menores que para 20° (del orden de 4% menos para las muestras de 2mm y 4mm, y de 3% para la muestra de 3mm).



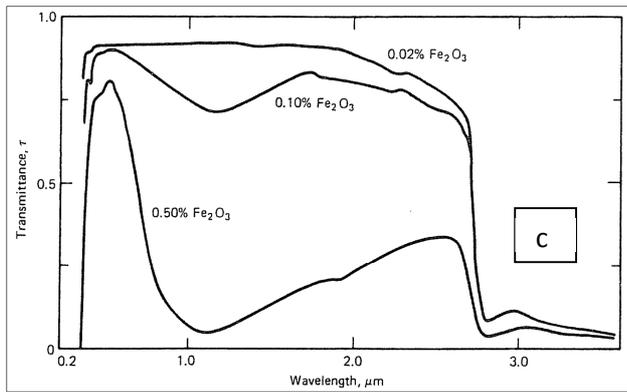


Figura 4: Reflectancia espectral porcentual para los tres tipos de muestras para a) 20° de incidencia y b) 60°. En c) se muestra la transmitancia espectral para vidrios de 6mm de espesor con composiciones distintas de óxido de hierro y para incidencia normal, (Duffie and Beckman 2006).

La presencia del valle en las medidas realizadas puede asociarse a la cantidad de hierro presente en el sustrato de vidrio, el cual absorbe la radiación con longitudes de onda del infrarrojo cercano. La Figura 4c muestra la transmitancia espectral τ_λ para tres vidrios de 6mm con diferentes contenidos de óxido de hierro a incidencia normal, observándose que a mayor contenido de óxido de hierro, más notoria es la disminución de la transmitancia en el infrarrojo cercano. Esto indica que, como es de esperar, existe una relación directa entre la τ_λ del sustrato de vidrio y ρ_λ del espejo, en el que los efectos de absorción y dispersión de la película reflectora son bajos.

Las medidas realizadas para ángulos de incidencia de 10°, 30°, 40°, 50° y 70° presentan comportamientos similares a las observadas en la Figura 4a y 4b. Si bien las diferencias entre tandas de medida son poco apreciadas, se observa una pequeña disminución en los valores de $\rho_\lambda(\%)$ acorde al incremento en el ángulo de incidencia en todos los casos. Debido a las curvas de τ_λ que se han observado en la bibliografía para cubiertas de vidrio, se esperaba una caída brusca de la capacidad de reflexión a partir de 60° de incidencia. En este caso, como muestra la Figura 5, la pendiente negativa tiene un comportamiento más uniforme, para el rango de θ ensayado.

Se pueden integrar los valores medidos en todo el rango espectral, para las diferentes muestras y para los distintos ángulos de incidencia concentrando la gran cantidad de datos por serie de medida en puntos que representan el comportamiento promedio en el intervalo 450 a 1650 nm.

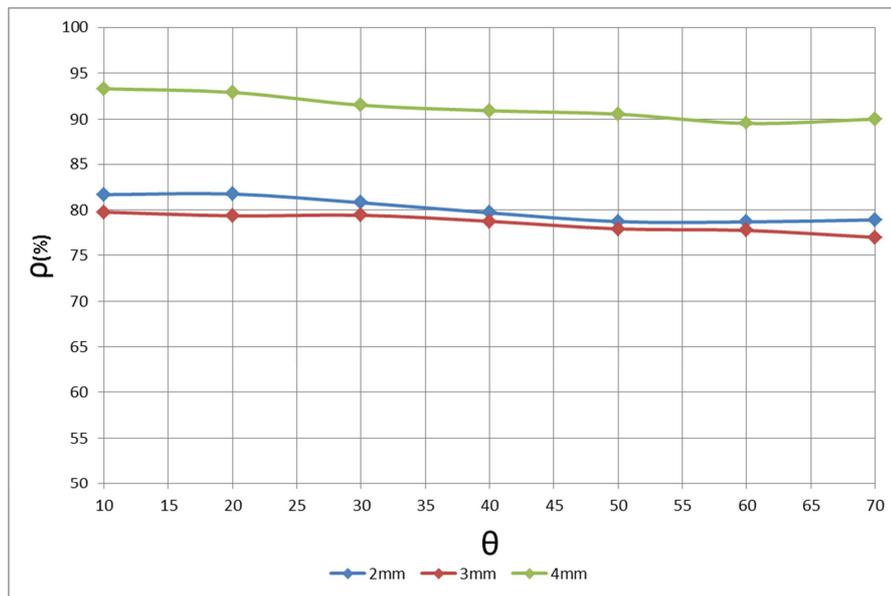


Figura 5: Reflectancia porcentual de las tres muestras ensayadas, para distintos ángulos de incidencia.

A partir de la Figura 5 se determina que la muestra de 4mm de espesor presenta una reflectancia entre 94% y 90% para el rango [10° - 70°]. La muestra de 2mm arroja valores de reflectancia entre 82% y 79% mientras que la muestra de 3mm presenta valores entre 80% y 77% según aumenta el ángulo de incidencia del haz de luz.

Reflectancia espectral ponderada con el espectro solar

Debido a que estos espejos se utilizan en aplicaciones solares de concentración, es importante considerar la reflectancia espectral asociada a la intensidad de radiación directa del espectro solar en cada longitud de onda. Para ello, se utiliza el

espectro de radiación solar directa para una atmósfera estándar normalizado a 1. Este espectro normalizado se multiplica, para cada longitud de onda, por la reflectancia correspondiente.

La distribución espectral de la radiación directa normal sobre superficie terrestre (considerando la atenuación atmosférica) se calculó mediante el modelo SMART - v2.9.5 (Gueymard, 1995). Se consideró una masa de aire de 1.5, columna de agua precipitable de 1.42cm, columna de ozono de 0.34 atm-cm, y concentración de CO₂ de 370ppm, como propone Duffie and Beckman (2006). Los valores obtenidos, en W/m²/nm, se muestran en el eje secundario de las Figuras 6a y b. Estos valores se normalizaron con el valor pico de irradiancia (aproximadamente a 500 nm), de tal manera que la reflectancia espectral se encuentra ponderada con los valores de irradiancia solar relativa en el rango de medida (450 a 1650nm), como se muestra en la Figura 6.

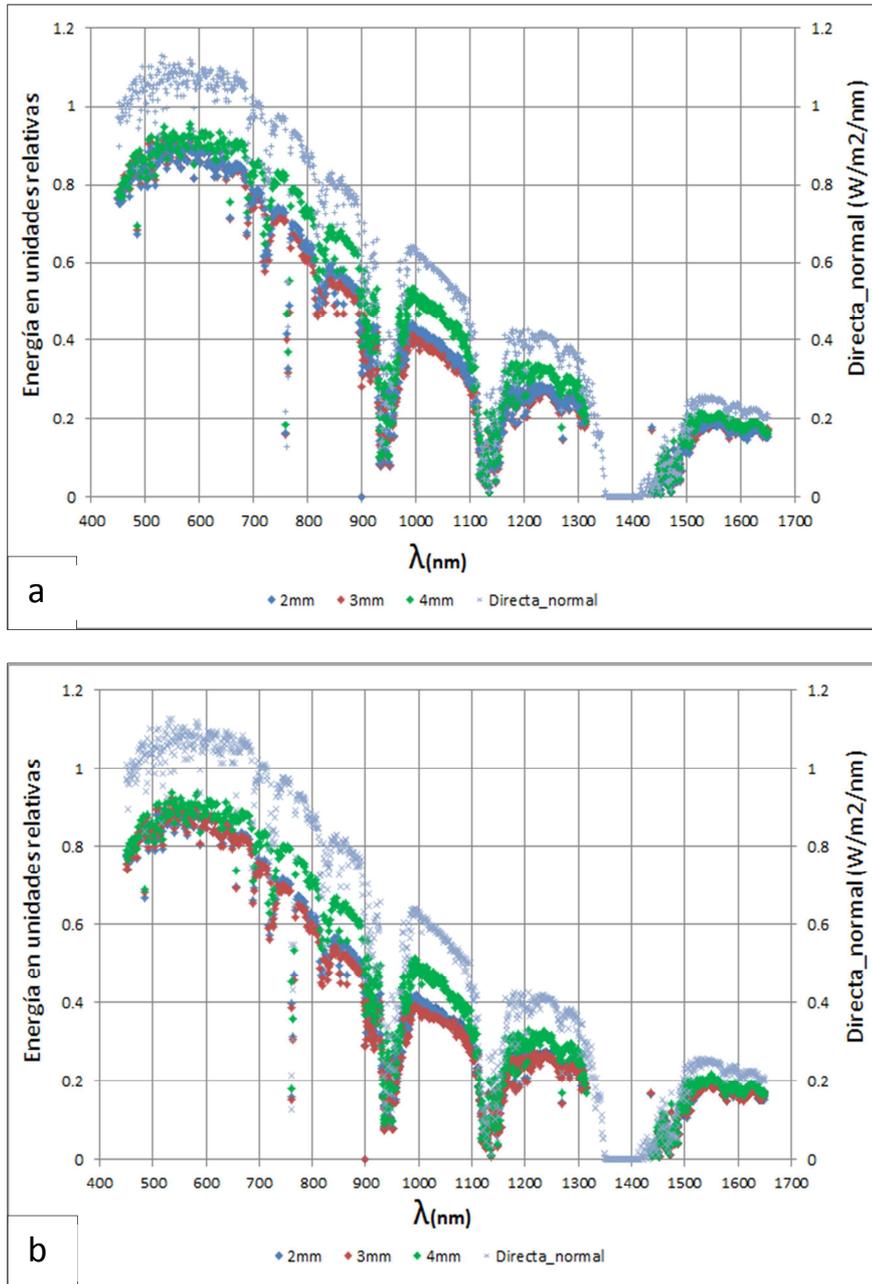


Figura 6: Energía en unidades relativas reflejada por las muestras de espejo para un ángulo de incidencia de a) 20° y b) 60°. El eje secundario muestra la irradiancia espectral directa normal al haz en W/m²/nm, calculada mediante SMART-V2.9.5 para una atmósfera estándar con masa de aire de 1.5, columna de agua precipitable de 1.42cm, columna de ozono de 0.34 atm-cm, y concentración de CO₂ de 370ppm.

La Figura 6 muestra que las diferencias entre la energía reflejada a 20° y a 60° son pequeñas. A simple vista se observa que la muestra de 4mm presenta un mayor rendimiento óptico, debido a su bajo contenido de óxido de hierro. Las mayores diferencias ocurren en el rango IR donde el óxido de hierro absorbe energía. La muestra con soporte de vidrio de 2mm refleja más cantidad de energía que la muestra de 3mm debido al menor trayecto óptico que recorren los haces de luz a través del

vidrio. Para la región de mayor potencia solar (región VIS) las tres muestras reflejan porcentajes muy similares de energía, alrededor del 90% considerando el rango de incidencia de 10° a 70°. La información proporcionada en la figura 6 puede resumirse mediante la tabla 1 donde se presentan los valores integrados según el intervalo de medición del dispositivo (LICOR: de 450 a 1050 nm; SNIR: de 900 a 1650 nm). Se modificaron levemente los rangos de integración para incluir solamente las medidas que presentan un buen nivel de confiabilidad.

	MUESTRAS		
	2mm	3mm	4mm
LI-20°	0.865	0.849	0.947
SNIR-20°	0.772	0.744	0.909
LI-60°	0.842	0.829	0.924
SNIR-60°	0.752	0.728	0.871

Tabla 1: Irradiancia total reflejada por las muestras de espejo para 20° y 60° de incidencia (con respecto a la radiación directa solar incidente en condiciones atmosféricas estándar).

CONCLUSIONES

El objetivo del trabajo fue caracterizar varias muestras de espejo para un rango de longitudes de onda que coincida, en gran medida, con el espectro solar de radiación. Debido al instrumental con el que se llevó a cabo el ensayo, el rango abarcado fue de 450nm a 1650nm. La metodología de medición propuesta permite, mediante los dispositivos necesarios, obtener valores de reflectancia para diferentes ángulos de incidencia. Las tres muestras espejadas presentan valores máximos de reflectancia en el rango visible, donde la radiación solar tiene el pico de emisión.

El comportamiento espectral de la reflectancia coincide en gran proporción a lo observado en la bibliografía. En términos generales y como era de esperarse, la cantidad de energía reflejada por las muestras disminuye al aumentar el ángulo de incidencia de la radiación incidente. Debido al mayor trayecto óptico del haz al aumentar el ángulo θ o el espesor del soporte de vidrio, fenómenos de absorción y dispersión disminuyen la reflectancia del mismo. Aun así, se observó que para ángulos de incidencia de 10° a 70° la disminución de la reflectancia es baja, del orden de 4% a 5%. La concentración de óxido de hierro afecta considerablemente la capacidad de reflexión del material. Por lo que la muestra de 4mm de espesor y soporte de vidrio con bajo contenido de hierro presenta los mayores valores de reflectancia y tiene una distribución ρ_θ vs λ más uniforme que el resto de las muestras. Considerando el rango espectral de medida, la reflectancia promedio varía entre 94% y 90% en el rango $10^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$. La muestra de 2mm de espesor y soporte de vidrio tradicional presenta valores de reflectancia entre 82% y 79% para los ángulos antes mencionados y finalmente la muestra de 3mm de espesor y soporte de vidrio tradicional (concentración media de óxido férrico) arroja valores desde 80% a 77%.

La semi-caracterización del comportamiento de diferentes tipos de espejos en cuanto a su capacidad de reflexión en función del ángulo de incidencia permite evaluar, dentro de las aplicaciones de concentración solar, el material más conveniente para emplear en la aplicación. Para ello debe considerarse también un aspecto fundamental que es lo económico, buscando un balance óptico – térmico – económico conveniente. Básicamente la decisión debe tomarse en base a la calidad del soporte del vidrio, es decir, espejos con bajo contenido de hierro en su vidrio soporte (vidrio blanco) o con contenidos de hierro medio (vidrio verde - claro).

REFERENCIAS

Gueymard, C.A., 1995. SMARTS, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: Algorithms and Performance Assessment. Technical Report No. FSEC-PF-270-95. Cocoa, FL: Florida Solar Energy Center.

Hongn M., Flores Larsen S., Altamirano M., Gea M., Saravia L., (2011). Estudio de reflectancia de espejos para un Concentrador Solar Fresnel Lineal. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 15. ISSN 0329-5184.

Meyen S., Fernández-García A., Kennedy C., Lüpfert E., 2010. Standardization of solar mirror reflectance measurements – round robin test. <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/49189.pdf>.

Meyen S, Sutter F., Heller P., Oschepkov A, 2014. A New Instrument for Measuring the Reflectance Distribution Function of Solar Reflector Materials. Energy Procedia, Volume 49, pp. 2145-2153.

Pettit, R. B., 1977. Characterization of the Reflected Beam Profile of Solar Mirror Materials. *Solar Energy*, Vol. 19: pp. 733-1977.

SolarPACES, 2011. Guideline. Measurement of solar weighted reflectance of mirror materials for concentrating solar power technology with commercially available instrumentation.
http://www.solarpaces.org/images/pdfs/201306_SolarPACES-Reflectance-Guidelines-V2_5.pdf.

Susemihl I., Schissel P., 1987. Specular Reflectance Properties of Silvered Polymer Materials. *Solar Energy Materials*, Vol. 16, pp. 403-421, Elsevier Science Publishers.

Zhu G., Kearney D., Mehos M., 2014. On characterization and measurement of average solar field mirror reflectance in utility-scale concentrating solar power plants. *Solar Energy*, Volume 99, pp. 185-202.

ABSTRACT

In present work experimental, a methodology to determinate specular reflectance values in range (450nm a 1650nm) for different mirrors target was carried out. Two targets of 2 and 3mm thickness whose glass supports are similar (the same manufacturer) and a mirror target of 4mm thickness with “white glass” (glass with low iron concentration). The measurements were made for different incidence angles, from 10° to 70°. Iron oxide absorbs solar energy, in IR range principally, so that mirror with white glass had a better optic performance. The average values in wavelength range of spectrometers measurement are: for 4mm target reflectance values between 94 and 90% (on mentioned incidence range), from 82 to 79% for 2mm mirror and values between 80 and 77% for 3mm target.

Key words: Specular spectral reflectance, solar energy concentration, mirror surfaces.