

UN DISPOSITIVO PARA MEDIR LA ABSORBANCIA DE LA RADIACION SOLAR.

A. FASULO (*) y L.A. ODICINO (*)

I-RESUMEN

Avanzando en el desarrollo de un dispositivo de bajo costo, que nos permita determinar la absorbancia de la radiación solar por superficies. Procuramos ahora superar algunas de las dificultades que presentó el primer dispositivo [1] y a la vez mejorar su sensibilidad.

Buscamos a travez del diseño minimizar la influencia de la cubierta de vidrio sobre la placa receptora.

Para la evaluación teórica calculamos los factores de vista entre los distintos elementos del dispositivo. Formulamos el intercambio de radiación entre estos.

Se desarrolló un programa de computación para , simular numéricamente las condiciones de trabajo (ciclos de calentamiento enfriamiento) como así también las condiciones de estabilidad del equipo.

El instrumento se construyo en acero inoxidable y sus paredes se encuentran termostatzadas. El mismo se puede dividir en dos partes iguales para permitir la colocación de la placa. Todo el sistema es estanco permitiendo un vacío de por lo menos 10^{-4} torr.

II-INTRODUCCION

En un trabajo anterior [1] presentamos un dispositivo que nos permite determinar la absorbancia de la radiación solar $\{\alpha_s\}$ relativas de superficies desplegadas sobre placas metálicas. La α_s , desconocida, de la superficie depositada sobre una de las cara de la placa se determina en función de la α_s , conocida, depositada sobre la otra cara.

La característica del método de determinación de α_s , que lo hace confiable y repetible, se basa en comparar las velocidades de calentamiento de la placa en un estado de fluctuación térmica estabilizado, y que este sea independiente de las variables externas al dispositivo.

Una de las principales desventajas que posee es el largo tiempo de operación necesario para que ingrese en el estado de fluctuación térmica estable, como se podrá apreciar en la gráfica 1, [1] se requiere mas de una hora. Con la finalidad de superar esta desventaja y explorar la posibilidad de mejorar otros aspectos, como la sensibilidad del instrumento. Estudiamos el comportamiento que tendría un instrumento similar que permita evacuar los gases de la cavidad.

(*) LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR-UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN LUIS
CHACABUCO Y PEDERNEIRA 5700 SAN LUIS.

III-DISEÑO

El diseño de la cavidad lo hacemos procurando satisfacer las siguientes pautas:

a) Que sea posible acceder fácilmente al lugar donde estará ubicada la placa.

b) Que el soporte que contendrá la placa facilite el posicionamiento de esta en el plano central de la cavidad y haga mínimas sus pérdidas conductivas.

c) Que el tamaño y distancia entre las ventanas y la placa sea tal que minimice el intercambio de radiación entre ambas.

Buscando satisfacer estos requisitos resolvimos construir el soporte para la placa con un disco de espesor y diámetro tal que a la vez, de contenerla en su parte central (de 6cm x 6cm) sujeta de sus vértices, haga de soporte y sello, para vacío, entre las paredes de la cavidad que se extienden hacia ambos lados se este.

Las paredes de la cavidad deberán estar lo suficientemente alejadas de los vértices de la placa, seleccionamos esta distancia en función de la conductividad térmica de los materiales disponibles para construir el soporte, grilón o teflón, mas un pequeño margen, resultando las dimensiones de este: 15 cm. por 15 cm.

Satisfacer la tercera condición (c) nos llevó a ubicar la ventana a una distancia de 25 cm de la placa, en estas condiciones el intercambio radiante entre ambas será menor al 3%. Esto permitió arribar a la conclusión de que la cavidad debía construirse con dos trozos cilíndricos de aproximadamente 15 cm de diámetro y 25 cm de largo cada uno. Las ventanas serán circulares con un diámetro de 8,5 cm.

IV-ECUACION DE INTERCAMBIO DE ENERGIA

Cuando la radiación solar R [$W/m^2 \cdot seg$] ingresa al instrumento atravesando la ventana que tiene una transmitancia media τ , e incide sobre la cara de la placa que tiene una absorbancia desconocida α_x , incrementa su temperatura por unidad de tiempo en proporción a estos factores y a la fracción reflejada $(1-\alpha_x)$ que es repetidas veces reflejada por la pared de la cavidad y los vidrios de la ventana en proporción a sus respectivas reflectancias en el visible ρ_{pv} , ρ_{vv} , y factores de vista: muestra-pared F_{mp} , pared-muestra F_{pm} , pared-pared F_{pp} , muestra-vidrio F_{mv} , vidrio-muestra F_{vm} .

La placa recibe también energía desde la pared y del vidrio en proporción a sus temperaturas T_p y T_v , a la emitancia en el infrarrojo de estos ϵ_p y ϵ_v respectivamente en forma directa. Además a través de múltiples reflexiones sobre: la pared ρ_{pi} , el vidrio ρ_{vi} y en proporción a los factores de vista mencionados y los correspondientes a vidrio-pared F_{vp} y recíproco F_{pv} . Que absorbida por las caras de la placas según sus respectivas absorbancias (emitancias) globales en el infrarrojo ϵ_x y ϵ .

Por otra parte la placa emite hacia la pared y los vidrios en proporción a la temperatura de la placa, menos la fracción de esta que luego de múltiples reflexiones tanto sobre la pared como el vidrio vuelve a incidir sobre la placa. Tenemos en consecuencia la ecuación-1-

Donde t es el tiempo [seg], M la masa de la placa [20 gr.], A el área de la placa [36 cm^2], c calor específico de la placa [381,2 cal/gr.°K] y σ la constante de Stefan-Boltzman [$5,67 \times 10^{-8}$ cal/ $m^2 \cdot K^4 \cdot seg$].

$$\frac{dT}{dt} = \tau \cdot \frac{(H.A)}{m \cdot c} \cdot \alpha_i [1 + (1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{\rho_p F_{pv} F_{vp}}{1 - \rho_{vi} F_{vv}} + \rho_g F_{pg} F_{gp} \right)] -$$

$$- \left(c_{11} + c_{21} \right) \frac{\Lambda}{m c} \sigma T^4 [1 - (c_{11} + c_{21}) \left(\frac{\rho_{vi} F_{vv}}{1 - \rho_{vi} F_{vv}} + \rho_{gi} F_{vg} F_{gp} \right)] +$$

$$+ c_{v1} \frac{\Lambda_v}{m c} \sigma (c_{11} + c_{21}) T_v^4 \left[F_{vp} \left(\frac{1 + \rho_{gi} F_{vp} F_{gp}}{1 - \rho_{vi} F_{vv}} + \rho_{gi} F_{vg} F_{gp} \right) \right] +$$

$$+ c_{g1} \frac{\Lambda_g}{m c} \sigma (c_{11} + c_{21}) T_g^4 \left[F_{gp} + \frac{F_{gv} F_{vp} \rho_{vi}}{1 - \rho_{vi} F_{vv}} \right] \quad -1-$$

Integrando obtenemos Fmv y Fvm y empleando, para los restantes, los teoremas de factores de configuración entre áreas finitas y de reciprocidad [2]. En la tabla 1 presentamos los factores de vista del dispositivo diseñado y con las dimensiones seleccionadas en III.

Fmv	Fvm	Fmp	Fpm	Fvp	Fpv	Fpp
0,0250	0,0166	0,975	0,0506	0,9834	0,0767	0,8726

Tabla 1

Factores de vista entre los componentes de la cavidad.

A partir de los valores de la reflectancia espectral entre 3 μm y 50 μm de un vidrio float [3], determinamos la reflectancia media ponderada para un cuerpo negro a 350 K. Obtenemos ρvi=0,1 y de aquí ρvi=cvi=0,9.

Desde los datos de transmitancia espectral, obtenidos entre 1,3 μm y 2 μm [4], para el vidrio laminado que emplearemos determinamos la transmitancia media de este para la radiación solar. Obtenemos τ=0,7.

T-SIMULACION NUMERICA

Mediante el método numérico iterativo de Picard es resuelta la ecuación diferencial -1-, para ello desarrollamos un programa de computación apropiado para obtener la aproximación que se desee al valor numérico que verifica la ecuación.

Se dejan variables los parámetros correspondientes a las propiedades de la pared de la cavidad y la muestra y se fijan los del vidrio y los otros mencionados en el punto anterior. Se Toma R.τ=850 [W/m2.seg].

A) Prueba del programa: Se verifica el correcto funcionamiento mediante la condición de estabilidad térmica del sistema, para ello fijando en 300 K la temperatura de las paredes de la cavidad y del vidrio, con T(0)=300 K se obtiene T(400)=300 K, para cix=ci=1 y diferentes valores de ρpi.

B) Ciclos de calentamiento-enfriamiento: Simulando la operación del instrumento para cada ciclo: calentamiento durante 400 seg. con R.τ=850 sobre una cara de la placa, seguido del enfriamiento durante 400 seg. con R.τ=0 y luego sobre la otra cara, así hasta alcanzar la estabilidad en las temperaturas extremas. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

C) Efectos de las fluctuaciones térmicas de las paredes y vidrios: Para tener una idea del grado de estabilidad térmica que debemos mantener en el instrumento durante las experiencias, para que

los resultados no se vean afectados, y el efecto que sobre esta las propiedades reflectivas de las paredes de la cavidad, simulamos experiencias: Ciclos de calentamiento-enfriamiento hasta lograr estabilidad para : C1) Superficie negra ($\alpha_s = c_i = 1$) en ambas caras de la placa y variamos la temperatura de la pared entre 290 K y 310 K de K, manteniendo la temperatura del vidrio constante en 300 K partiendo con $T(0) = 300$ K.

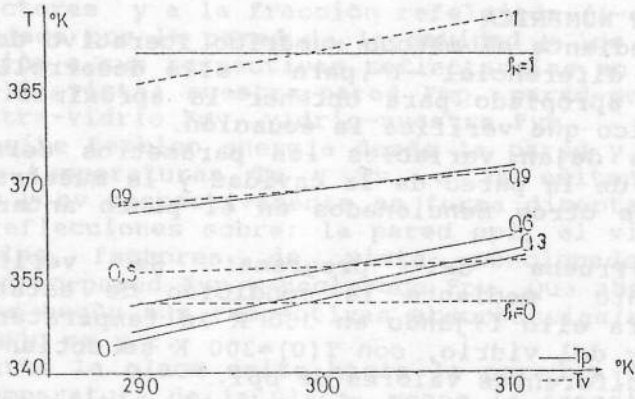
α_s, α_x	c_i, c_x	ρ_{pi}	T(400)	ΔT	Observaciones
1	1	0,9	369	57	
1	1	0,7	359	52	Estabilidad en tres semi-ci/clos.-
1	1	0,5	355	49	
1	1	0,3	353	48	

0,95	0,05	0,9	564,9	74	
0,95	0,05	0,7	565,4	73,6	Estabilidad en tres ciclos.
0,95	0,05	0,5	565,6	73,4	
0,95	0,05	0,3	565,8	73,3	
0,95	0,05	0,1	565,9	73,2	

Tabla 2

simulación operación del instrumento, para cuerpo negro en ambas caras y selectiva en ambas caras de la placa. T(400) es la temperatura máxima que toma la placa en el ciclo en la cual esta es estable y $\Delta T = T(400) - T(0)$ del ciclo estabilizado.-

Repetimos estas cinco operaciones para distintos valores de reflectancia de la pared de la cavidad.



Gráfica 2

Variación de la temperatura de la muestra (negro $\alpha_s = c_i = 1$) en función de la variación de la temperatura de la pared de la cavidad (con $T_v = cte. = 300K$) curvas llenas y en función de la variación de la temperatura del vidrio (con $T_p = cte. = 300K$) curva de trazos.

C2) Idem al anterior pero fijamos la temperatura de la pared en 300 K y cambiamos la temperatura de los vidrios. C3) Idem a C1) y C2) para una superficie selectiva ($\alpha_s=0,95$, $\epsilon_i=0,05$) sobre ambas caras de la placa.

En la gráfica 2 mostramos los resultados de las experiencias C1) y C2) para los distintos valores de ρ_{pi} .

El análisis de los resultados indica que:

- 1) Los valores mas altos para la temperatura de la placa se corresponden con valores altos de ρ_{pi} .
- 2) La mayor incidencia, de la variación tèrmica de la pared sobre la placa, se presenta para valores bajos de ρ_{pi} . Esta decrece y es nula para $\rho_{pi}=1$.
- 3) La incidencia de la variación tèrmica de los vidrios, sobre la muestra es màxima para $\rho_{pi}=1$ y decrece a cero para $\rho_{pi}=0$.

Respecto al caso de placas con superficies selectivas C3) la tabla 3 nos muestra los efectos de las fluctuaciones tèrmicas de la pared

ρ_{pi}	T_p	T_v	$T(400)$	ΔT
0	300	290	565,9	73,2
0	300	310	565,9	73,2
0	290	300	564,2	73,3
0	310	300	567,8	73,2
0,5	300	290	565,4	73,5
0,5	300	310	565,8	73,4
0,5	290	300	564,2	73,4
0,5	310	300	567,3	73,4
1	300	290	563,4	74,5
1	300	310	565	74,5
1	290	300	564,2	74,4
1	310	300	564,2	74,4

Tabla 3

Variación de la temperatura de la muestra (selectiva $\alpha_s=0,95$, $\epsilon_i=0,05$) en función de la variación de la temperatura de la pared de la cavidad y del vidrio $\Delta T=T(400)-T(0)$ del último ciclo.

Los resultados de las simulaciones, resumidos en la tabla 2, nos permitieron concluir que le instrumento propuesto podría satisfacer las pautas mencionados en el punto II pues:

- 1) Reduce de doce ciclos a solo tres semi-ciclos, para superficies grises y a tres ciclos para selectivas, el tiempo de operación del instrumento para lograr su estado de regimen.
- 2) Amplia la sensibilidad del instrumento frente a la radiación pues nos provee de saltos tèrmicos de 50 K para superficies grises y de 73 K para selectivas frente a saltos tèrmicos de 18 K del dispositivo no evacuado.

De los valores resumidos en la grafica 2 concluimos:

- 1) Las mayores temperaturas en la cavidad se obtienen para propiedades reflectantes altas en la pared de la cavidad, pero a su vez para estas se encuentran el mayor efecto de la fluctuación tèrmica de los vidrios sobre la placa

2) Para propiedades reflectantes bajas de la pared el efecto sobre la placa de la fluctuación térmica de los vidrios es mínima (menos de 2K para una fluctuación de 20K, en la ventana, para $\rho_{pi}=0,6$), pero a su vez el efecto de la fluctuación térmica de la pared sobre la placa es fuerte. 11K para un cambio de 20K en la pared con $\rho_{pi}=0,6$.

A partir de la tabla 3 se ve que cuando tenemos superficies selectivas en la placa valen las mismas conclusiones que en casos anteriores, pero, los efectos son pequeños para cambios de temperatura de la pared y despreciables para cambios de temperatura en las ventanas.

VI-CONSTRUCCION DEL DISPOSITIVO

Este se construyó en dos cuerpos empleando acero inoxidable 304 de 3mm de espesor para la pared cilíndrica y la tapa externa que contiene la ventana y de 5mm de espesor para la tapa interna de cada cuerpo. La tapa interna posee una perforación circular en su centro de 12 cm de diámetro y aletas de 2,5 cm con ocho perforaciones por donde pasamos bulones que permiten ajustar ambos cuerpos dejando entre ellos un soporte de grilón de 2cm de espesor. Este soporte contiene en su centro la placa y cavidades sobre ambas caras que permiten alojar sendos "o'ring" de 15 cm de diámetro. Un tubo de 7mm de diámetro soldado a la pared externa envuelve cada cilindro y permite su termostatzado

VII-CONCLUSIONES

Disponemos ahora de un instrumento de bajo costo, fácil construcción y operación, mayor sensibilidad y menor tiempo de operación para la determinación relativa de la absorbancia solar por superficies.

VIII-REFERENCIAS

- [1] Un medidor de la absorbancia relativa de la energía solar.
A. Fasulo - L. Odicino y M. Torres. Reunion de ASADES 1988-Salta
- [2] Thermal Radiation Heat Transfer.
Robert Siegel-John R. Howell. Mac Graw-Hill 1972
- [3] Optical Properties of Soda Lime Silica Glasses.
M. Rubin. Solar Energy Materials 12(1985)-275-288.
- [4] Informe N 10720 Laboratorio de Espectroscopia Aplicada.
Departamento de Química. U.N.S.L. 1988