

CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE PIRANÓMETROS FOTOVOLTAICOS DE BAJO COSTO DESARROLLADOS EN LA C.N.E.A.

C.G. Bolzi⁽¹⁾, J.C. Durán⁽¹⁾, O. Dursi⁽²⁾, G. Renzini⁽²⁾ y H. Grossi Gallegos⁽²⁾

⁽¹⁾Grupo Energía Solar, Departamento de Física, Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica
Av. Gral Paz 1499 - 1650 San Martín, Argentina -Tel: 4754-7132, Fax: 4754-7121, E-mail: duran@cnea.gov.ar

⁽²⁾Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional, Av. Mitre 3100, 1663 San Miguel, Argentina
Te/Fax: 4455-6762, E-mail: hgrossi@cvtci.com.ar

RESUMEN

Los piranómetros construidos utilizan como elemento sensor una celda fotovoltaica de silicio cristalino, con dos tipos de cubierta, una de vidrio transparente y otra de vidrio esmerilado. Se midió la respuesta angular de los piranómetros, variando el ángulo de incidencia de la luz en $\pm 90^\circ$, y se la comparó con la ley del coseno. Se estudió en condiciones reales el comportamiento de uno de los sensores con difusor, comparándose con un piranómetro termoelectrico de precisión, regularmente utilizado para la calibración de otros solarímetros. Se analizaron tanto las integrales diarias cuanto las horarias, determinándose la constante media diaria de calibración mediante el ajuste de una correlación lineal que arrojó un coeficiente de determinación de 0,99, comparable al obtenido para otros sensores fotovoltaicos ya comercializados en el exterior.

INTRODUCCION

El uso de piranómetros que utilizan como elemento sensor un fotodiodo de silicio (básicamente, una celda fotovoltaica) se halla muy difundido para la medición de radiación solar debido a su bajo costo comparado con el de piranómetros basados en termopilas. Los principales inconvenientes de los fotodiodos son: (i) su respuesta espectral limitada y no plana, y (ii) su apartamiento considerable en la respuesta angular con respecto a la dependencia con el coseno del ángulo de incidencia. Como consecuencia de ello, los valores de irradiación medidos pueden diferir de los reales en más de un 10%, dependiendo de la altura del Sol y las condiciones meteorológicas.

A fin de evaluar la posibilidad de disponer en el país de piranómetros confiables y de bajo costo fabricados localmente, durante el año 1998 se iniciaron actividades en el tema utilizando como elemento sensor celdas solares de silicio cristalino desarrolladas en la CNEA. En una primer etapa, se realizaron estudios teóricos con el fin de mejorar la respuesta espectral de la celda mediante multicapas dieléctricas y se fabricaron los primeros dispositivos (Durán *et al.*, 1998). En este trabajo se presentan los estudios de laboratorio realizados, junto con los resultados de las primeras experiencias de campo.

DESCRIPCION DE LOS PIRANÓMETROS

Los piranómetros elaborados utilizan como elemento sensor celdas fotovoltaicas fabricadas a partir de obleas de silicio monocristalino de origen comercial. Las principales características de estas celdas son:

- estructura n^+pp^+ ,
- área activa $\cong 4,5 \text{ cm}^2$,
- tensión de circuito abierto: 550-600 mV,
- corriente de cortocircuito: 110-130 mA,
- sin multicapas dieléctricas.

Como elemento protector de las celdas se utilizó una cubierta de vidrio de 2 mm de espesor con dos variante: transparente o con un tratamiento de arenado en su cara frontal (o sea, la que recibe la radiación solar); este último funciona como difusor de la radiación. El pegado de la cubierta (vidrio transparente o difusor) se realizó con un adhesivo resistente a la radiación solar y con un índice de refracción muy similar al del vidrio (Dow Corning 93-500). El sensor se fijó sobre un soporte de aluminio en cuyo interior se alojó la resistencia de carga de la celda.

ESTUDIOS DE LABORATORIO

Las mediciones de la respuesta del sensor con respecto al ángulo de incidencia se realizaron en laboratorio a fin de tener un mayor control sobre las condiciones de iluminación. Para esto, se construyó un colimador que, adosado a una lámpara de tungsteno de 50W con reflector dicróico, permitió tener un haz de luz con una abertura angular máxima de 3° . Asimismo, se construyó un soporte que permite variar el ángulo de incidencia a intervalos de 5° desde -90° a $+90^\circ$. En la Fig.1 se compara la respuesta angular de los sensores, con y sin difusor, con la curva de la respuesta ideal proporcional al coseno del ángulo de incidencia; se incluyen los errores relativos correspondientes.

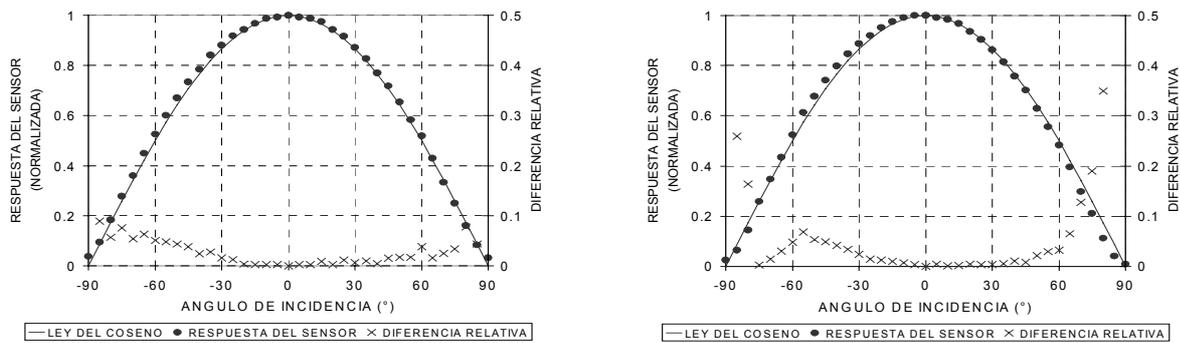


Fig.1: Respuesta angular de los sensores con difusor (izquierda) y sin difusor (derecha) en función del ángulo de incidencia comparada con la dependencia del coseno del ángulo.

A fin de evaluar la posible incidencia de las cubiertas sobre la respuesta espectral del piranómetro, se midió la transmitancia de las mismas utilizando un espectrofotómetro con esfera integradora (ver Fig. 2). Los resultados obtenidos muestran el corte en la transmitancia asociado a la absorbancia del vidrio común en la zona del infrarrojo y un comportamiento prácticamente plano en el resto del espectro.

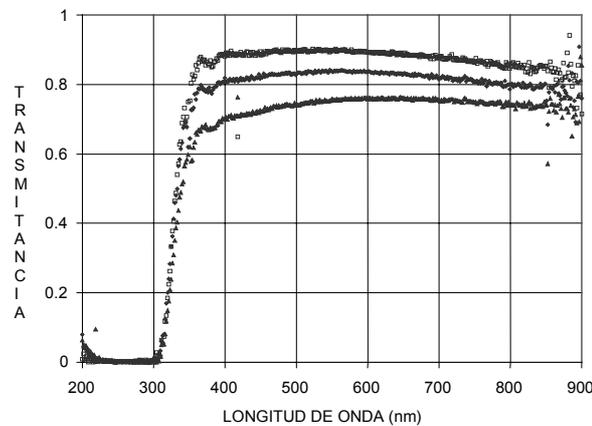


Fig. 2: Transmitancia de un vidrio transparente (curva superior) y dos esmerilados (curvas central e inferior).

ESTUDIOS DE CAMPO

Si bien se dispuso de los dos sensores similares, uno construido con la celda cubierta por un vidrio esmerilado en la cara externa y otro con un vidrio sin esmerilar, en esta primera parte de los ensayos se utilizó únicamente el sensor cubierto con vidrio esmerilado.

Siguiendo el procedimiento habitual en estos casos, se tomaron en campo simultáneamente lecturas instantáneas del piranómetro termoelectrónico utilizado como patrón secundario (marca EPPLEY modelo PSP No. 18070F3) y del sensor fotovoltaico (utilizándose un divisor de tensión a fin de adecuar la respuesta al rango del detector), integrándose en base horaria y grabándose en un cartucho de memoria sólida, el que se retira para llevar la información a un ordenador a fin de ser procesada.

La experiencia se realizó entre el 12 de mayo y el 15 de julio de 1999, con una radiación global media diaria de 6.7 MJ/m^2 en ese período, con un valor máximo de 12.8 MJ/m^2 y un mínimo de 0.9 MJ/m^2 . Este rango reducido de irradiación solar obligará a continuar el estudio hasta los meses en que se alcanzan los mayores valores para analizar así su posible influencia.

Para obtener la constante media de calibración del sensor, a fin de ser utilizada para determinar las sumas diarias de radiación global, se calcularon las integrales diarias registradas por ambos sensores y se las correlacionó linealmente, obteniéndose un buen ajuste con un elevado coeficiente de determinación ($R^2 = 0.994$), como se puede ver en la Fig. 3 de la página siguiente. De esta manera se determinó para la misma un valor de $6.77 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^2$ con un error relativo del 1.1% (debe recordarse que la estabilidad anual tolerada en el piranómetro utilizado como patrón es del 1.5%, por lo que esta incerteza debe adicionarse a la del método estadístico de comparación).

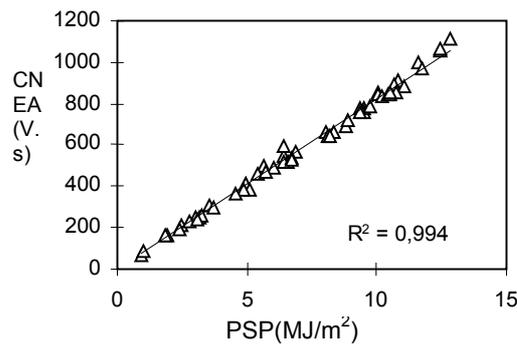


Fig. 3 : Determinación de la constante diaria de calibración.

Se estudió luego el comportamiento de 350 integrales horarias, obteniéndose las constantes de calibración en base a la misma metodología, arrojando para la constante de calibración un valor de $6.72 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$ y un error relativo del 1%, con un coeficiente de determinación de 0.992; los resultados gráficos se pueden ver en la Fig. 4.

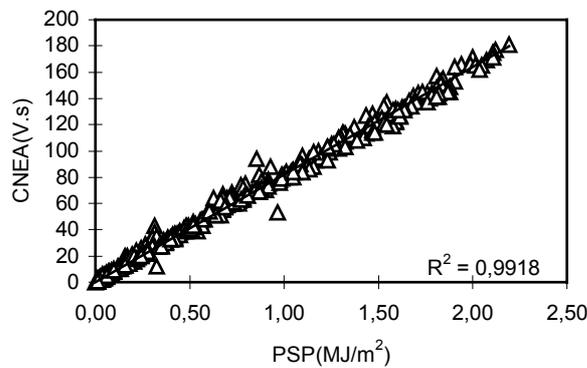


Fig. 4 : Determinación de la constante horaria de calibración.

Para tratar de detectar alguna dependencia con el estado del cielo se separaron las sumas horarias en tres rangos de valores del índice de claridad : $0 \leq k_t < 0.3$, $0.3 \leq k_t < 0.6$ y $0.6 \leq k_t$. Los valores obtenidos para las constantes de calibración se consignan en la Tabla 1 mientras que los gráficos correspondientes se presentan en la Fig. 5 de la página siguiente.

Intervalo	Número de casos	Error típico s_{yx} (V.s)	Pendiente (V.s/MJm ⁻²)	Constante ($10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$)	Error relativo	R ²
$0 \leq k_t < 0.3$	99	3.9	83.9	6.89	0.012	0.9871
$0.3 \leq k_t < 0.6$	107	4.2	91.9	6.72	0.019	0.9632
$0.6 \leq k_t$	94	4.1	81.7	6.70	0.021	0.9615

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos del análisis de la correlación de integrales horarias obtenidas con el sensor fotovoltaico bajo diferentes condiciones de transmitancia atmosférica.

Si bien para los dos últimos rangos de valores de transmitancia atmosférica la franja de incerteza no permite afirmar que se observe variación en la constante de calibración, no ocurre lo mismo con la constante determinada para bajos valores del índice horario de claridad. La muestra presenta un valor de dispersión razonable, comparable en todo con los otros dos casos, y el coeficiente de determinación es mejor.

CONCLUSIONES

Si bien este estudio no puede considerarse completo hasta que no se analice el comportamiento del sensor frente a valores mayores de irradiancia y se pueda diferenciar dentro de los valores bajos del índice de claridad k_t los que se deben a bajas alturas solares de los que corresponden a alta nubosidad, en base a los resultados obtenidos puede afirmarse que el piranómetro fotovoltaico de bajo costo desarrollado por la CNEA muestra un comportamiento similar a otros ya comercializados en el exterior (Dursi *et al.*, 1998), lo cual puede constituir una alternativa interesante para estudios de aprovechamiento de la radiación solar que no requieran demasiada precisión.

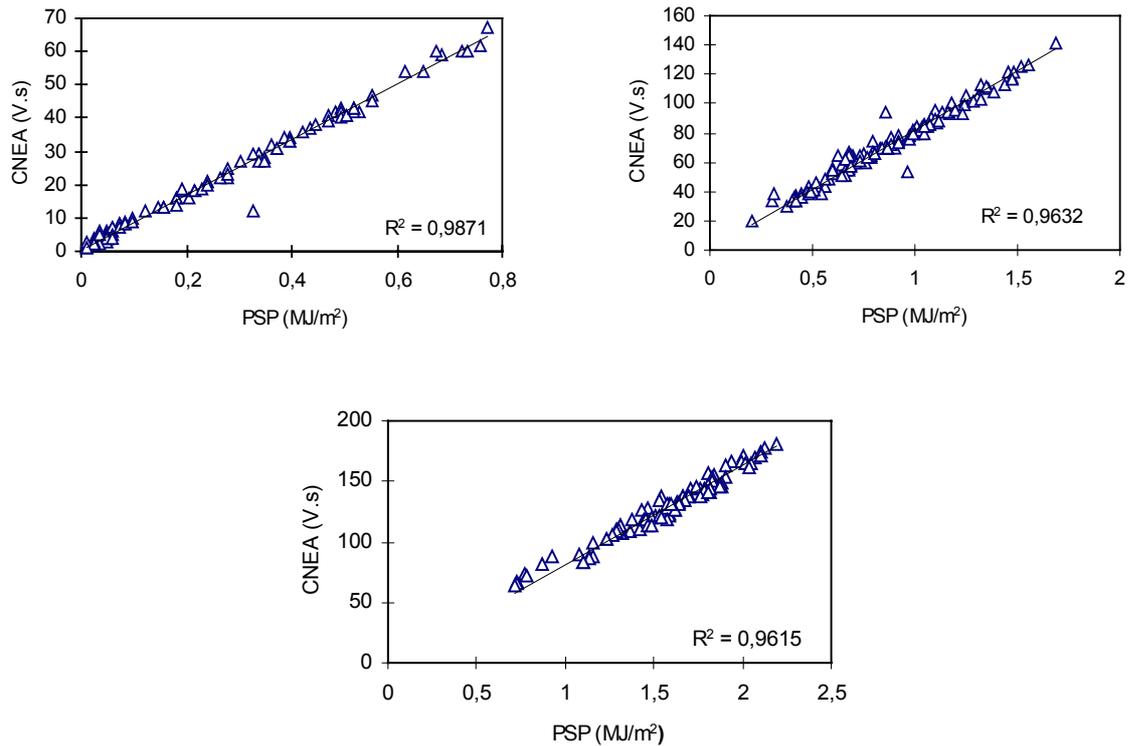


Fig. 5 : Correlaciones establecidas entre integrales horarias para diferentes valores del índice de claridad .
 Arriba, izquierda : $0 \leq k_t < 0.3$; arriba, derecha : $0.3 \leq k_t < 0.6$; abajo: $0.6 \leq k_t$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los demás integrantes del Grupo Energía Solar de la CNEA, en particular a C. Bruno, L. Merino y M. Tamasi, por su colaboración en la fabricación de los dispositivos y en las mediciones de laboratorio, como así también al Lic. J. Demicheli y al Ing. A. Roberti, del Centro de Investigaciones San Miguel (Dirección de Sistemas FAA), por su aporte en la adecuación del sistema de medición y en el procesamiento de los datos, respectivamente.

REFERENCIAS

- Durán, J.C., Bolzi, C. G., Godfrin, E. M., Plá, J. C., Merino, L. M., Bruno, C. J. y Tamasi, M. J. L. (1998). Fabricación de solarímetros de bajo costo en la Argentina. Algunas propuestas teóricas y primeras experiencias. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 2 (2), 5.9-5.12.
- Dursi, O., Grossi Gallegos, H. y Renzini, G. (1998). Algunos comentarios sobre el comportamiento de un sensor fotovoltaico. Nota técnica. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 2 (2), 5.25-5.28.