

RADIOMETROS FOTOVOLTAICOS: MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR VARIANDO LA TEMPERATURA DEL DISPOSITIVO

S.E. Rodríguez¹, C.G. Bolzi¹, M.G. Martínez Bogado^{1,2}, M.J.L. Tamasi^{1,2}

¹Grupo Energía Solar, Departamento de Física – Centro Atómico Constituyentes
Comisión Nacional de Energía Atómica

²Consejo Nacional de Investigación Científicas y Tecnológicas
Av. General Paz 1499 - (1650) San Martín - Argentina

Tel. (011) 6772-7137, Fax (011) 6772-7121, www.tandar.cnea.gov.ar, bolzi@tandar.cnea.gov.ar

RESUMEN: Se estudió la dependencia de la medición de la radiación solar con la temperatura de los radiómetros fotovoltaicos fabricados en el Grupo Energía Solar de la CNEA. El ensayo se realizó en un dispositivo especialmente acondicionado para la experiencia manteniendo la radiación constante en 1 kW/m^2 y variando la temperatura entre 15°C y 70°C utilizando una base termostatzada. De los resultados obtenidos se observa que, dentro del intervalo de temperatura utilizado y los intervalos de error, el valor de radiación medido por el radiómetro es independiente de la temperatura. La temperatura fue medida en simultáneo con el mismo sensor fotovoltaico del radiómetro (previamente calibrado para esto) y con una termocupla montada en el cuerpo del radiómetro.

Palabras clave: energía solar, solarímetros, sensores fotovoltaicos.

INTRODUCCION

Teniendo en cuenta la necesidad de disponer en el país de sensores de radiación solar confiables (Durán et al., 1998) y de bajo costo (Grossi Gallegos et al., 2001), en el Grupo Energía Solar de la CNEA se iniciaron actividades tendientes a diseñar y construir radiómetros fotovoltaicos en el país, aprovechando la experiencia adquirida en el desarrollo de celdas solares de silicio cristalino (Bolzi et al., 2002). Los radiómetros fotovoltaicos poseen como elemento sensor una celda de silicio, en general de tipo monocristalino, que al recibir un flujo radiante genera una diferencia de potencial sobre una resistencia de carga. Este circuito está montado y sellado dentro de un soporte de aluminio que le sirve de protección del ambiente (Bolzi et al., 2005). El valor de caída de potencial obtenida es proporcional a una corriente cercana a la corriente de cortocircuito, debido a que la resistencia de carga elegida es de bajo valor. Siendo la corriente de cortocircuito proporcional a la irradiancia (M.Green, 1995).

Los solarímetros al ser usados a la intemperie están sometidos a variaciones de las condiciones ambientales (R. Lopardo et al., 1979), como por ejemplo la acción de la temperatura ambiente. Esto hace que sea importante observar los cambios del valor de radiación a distintas temperaturas, estudiando de esta manera el cambio que pueda cambiar la señal obtenida. Se utilizó una base termostatzada para variar la temperatura entre 15°C y 70°C . Como fuente de radiación se usó un simulador solar de clase C con una radiación constante de 1 kW/m^2 .

La temperatura se midió con el mismo sensor fotovoltaico a través de la medición de la tensión a circuito abierto (V_{oc}). Para ello se calibró la V_{oc} de celda fotovoltaica ya que varía linealmente con la temperatura. En forma complementaria se midió la temperatura con una termocupla montada en el cuerpo del radiómetro. De esta manera se buscó verificar diferencias de temperaturas que podrían surgir entre el sensor y el resto del dispositivo.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.

El funcionamiento de una celda fotovoltaica (M.Green, 1995) puede ser descrito usando un circuito eléctrico equivalente, que puede verse en la Figura 1.

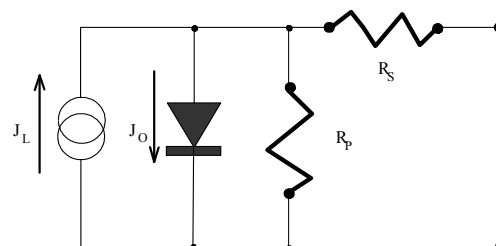


Figura 1: Circuito equivalente.

Siendo la ecuación de la celda solar

$$J = J_L - J_0 \left(\exp \frac{eV + J \cdot R_s}{mkT} - 1 \right) - \frac{V + J \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Donde J es la densidad de corriente fotogenerada, J_0 es la densidad de corriente de diodo o corriente de la celda en la oscuridad, R_s es la resistencia serie debida a la resistencia de los contactos, R_p es la resistencia paralelo debida a pérdidas en los bordes.

La fotocorriente (J_L) tiene un aumento con la variación de la temperatura, debido a que la longitud de difusión de los portadores aumenta por la disminución de la banda prohibida. De todas maneras, esta variación es muy pequeña y puede suponerse la corriente fotogenerada independiente de la temperatura. Mientras que la corriente de diodo tiene variación con la temperatura que se manifiesta en forma explícita a través de la corriente de diodo, en la forma:

$$J_0 = K_1 T^{-3} \exp\left(-\frac{E_{go}}{kT}\right) \quad (2)$$

siendo E_{go} (el ancho de banda prohibida a 0 K) y K_1 dos constantes que se pueden suponer independientes de la temperatura. Reemplazando la ecuación 2 en la ecuación 1 e igualando a cero se obtiene la caída de tensión a circuito abierto (V_{oc}), obteniéndose una dependencia lineal con la temperatura. El coeficiente de variación de la V_{oc} con la temperatura viene dado por:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{1}{T} \left(\frac{E_{go}}{e} - V_{oc} \right) \quad (3)$$

siendo $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ para el silicio.

Las unidades utilizadas habitualmente en la medición de los dispositivos fotovoltaicos suelen ser:

- Las densidades de corriente están expresadas en miliamperios por centímetro cuadrado (mA/cm^2).
- Las caídas de potencial están expresadas en milivoltios (mV).
- Las resistencias eléctricas están expresadas en ohmios (Ω).

CALIBRACIÓN DEL SENSOR COMO TERMÓMETRO

Antes de proceder al armado definitivo del dispositivo completo se procedió a calibrar el sensor como termómetro. Midiendo la V_{oc} para distintas temperaturas.

Para ello se utilizó:

- Base termostatzada, capaz de variar la temperatura entre 10°C y 70°C , en intervalos de 5°C .
- Termocupla tipo T, para medir la temperatura del sensor en la base termostatzada.
- Luz solar simulada, que proporciona una fuente de luz constante
- Multímetro, utilizada par medir la V_{oc} .

La disposición experimental puede verse en la Figura 2. Allí se ve que la termocupla esta alojada lo más cerca posible del sensor. Por otro lado, una vez lograda la temperatura deseada, se esperó aproximadamente 5 minutos para lograr una termalización adecuada de todo el conjunto (base termostatzada y sensor fotovoltaico).

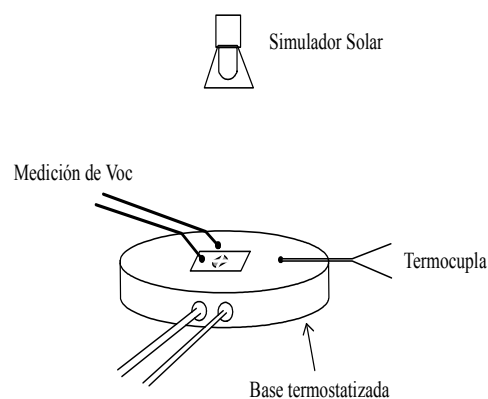


Figura 2: Disposición experimental.

Una vez hecha esta medición se graficó la Voc en función de la temperatura (Figura 3) obteniéndose la dependencia lineal esperada (prevista por el modelo teórico). Se realizó un ajuste lineal para obtener los coeficientes que relacionan a estos dos parámetros.

Obteniéndose:

$$T = A + B * V_{oc} \quad (4)$$

$$A = (229 \pm 3) ^\circ C \text{ y}$$

$$B = (-0,415 + 0,006) ^\circ C/mV$$

con un coeficiente de correlación

$$R = 0,99901$$

Teniéndose así un termómetro utilizando el sensor fotovoltaico. Cabe aclarar que su uso como termómetro se consigue cuando la celda esta iluminada, en caso contrario no puede realizarse esta medida.

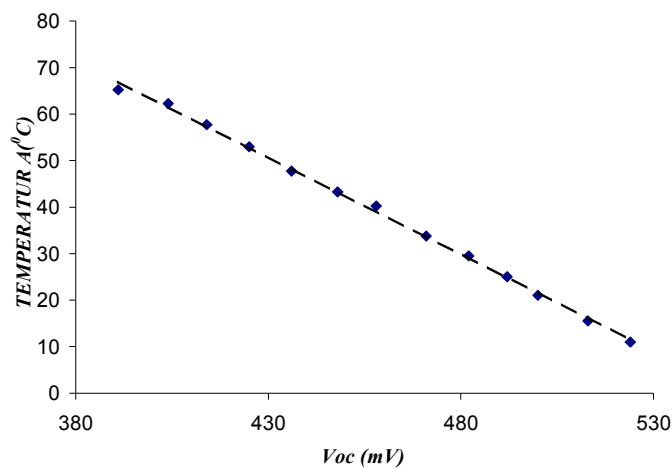


Figura 3: Temperatura versus Voc, ajuste lineal.

MEDICIÓN DE LA SALIDA DEL RADIÓMETRO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

Una vez calibrado el sensor como termómetro, se procedió al armado del radiómetro y los sellados correspondientes (necesarios para protegerlo del medio ambiente). Por otro lado se conectó un pulsador normalmente cerrado en serie con la resistencia, y el conjunto resistencia interruptor en paralelo con el sensor (ver Figura 4). De esta manera mientras el pulsador estaba en la posición de normalmente cerrado se media la señal de salida del Radiómetros (Vr). Mientras cuando de pulsaba el interruptor se media la temperatura usando la Voc del sensor fotovoltaico.

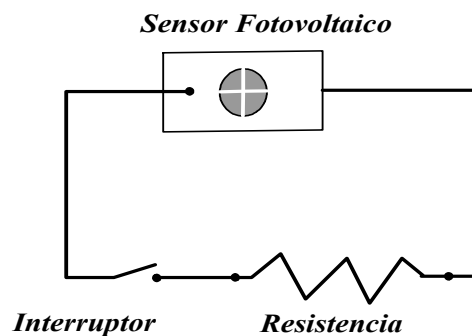
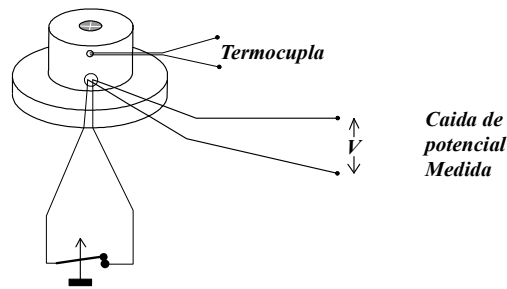


Figura 4: Circuito armado para realizar la experiencia.

Especialmente para esta medición se acondicionó un soporte utilizado habitualmente por el GES para los radiómetros (Bolzi et al., 2005) de manera que pueda alojar una termocupla tipo T. De esta manera se pudo obtener una medición de temperatura simultánea de la celda usando la Voc y el conjunto usando una termocupla T. En la Figura 5 se puede ver la disposición del radiómetro.



Interruptor normalmente cerrado

Figura 5: Esquema del radiómetro armado.

Se realizaron mediciones variando la temperatura entre 15⁰C y 70⁰C utilizando la base termostatzada, con intervalos de 5⁰C registrándose la temperatura del conjunto con la termocupla y la Voc del sensor fotovoltaico. Y como en la medición anterior se esperó 5 minutos para lograr una correcta termalización. Como fuente de radiación constante se volvió a utilizar luz solar simulada de 1kW/m². La disposición de esta medición puede verse en la Figura 6.

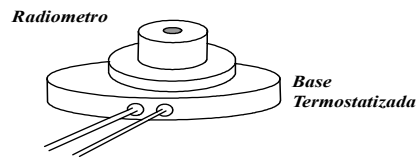
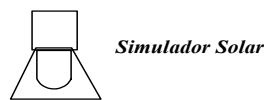


Figura 6: Disposición experimental.

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LA SALIDA DEL RADIOMETRO AL VARIAR LA TEMPERATURA:

No se observaron variaciones en la salida del radiómetro para una radiación constante de 1 kW/m². Esto puede verse en el gráfico de la Figura 7, allí en este se ve la variación de la salida del radiómetro en función de la temperatura medida usando Voc del sensor fotovoltaico.

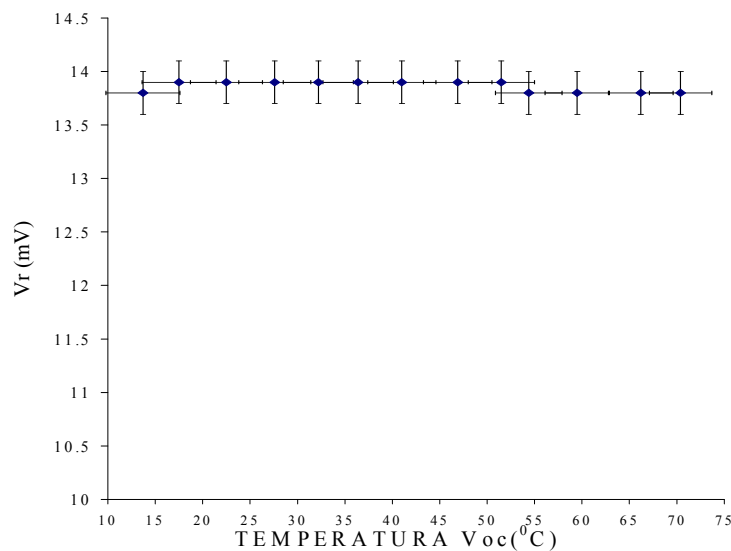


Figura 7: Vr en función de la temperatura calculada a partir de la Voc.

En la Figura 8 se muestra un gráfico similar al anterior, pero en este caso la temperatura es medida con la termocupla.

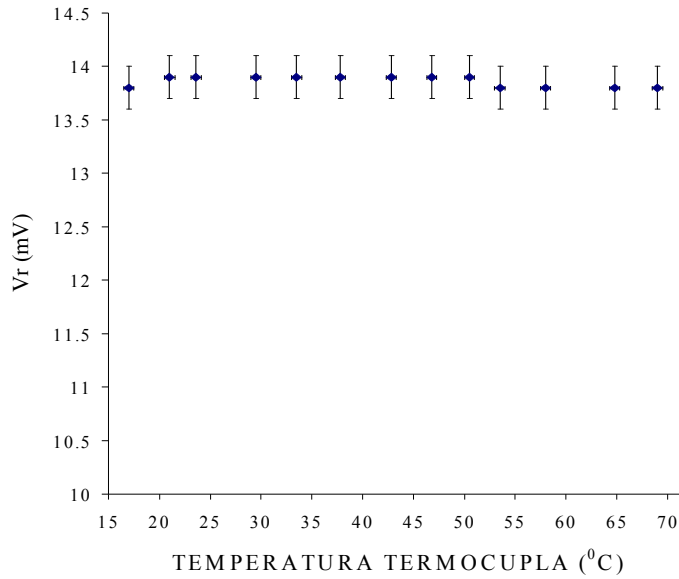


Figura 8: Gráfico de Vr contra Temperatura medida con la termocupla.

En ambos gráficos puede observarse que no existe una variación de la Vr con la temperatura. No obstante se realizó el promedio de los valores obtenidos, teniendo una desviación estándar de 0,1 mV. Sin embargo el error introducido por el instrumental fue de 0,2 mV. Eligiendo como la precisión de la medición a la suma del error introducido por el instrumental más la desviación estándar obtenida en esta serie de mediciones. Por lo tanto la salida del radiómetro para las temperaturas en el rango estudiado fue de:

$$V_r = (13,9 \pm 0,3) \text{ mV}$$

Vale aclarar que el valor se expresa en mV y no se da su equivalencia en kW/m² debido a que el radiómetro aún no ha sido calibrado.

Por otro lado se pudo contrastar la temperatura medida con la termocupla y la medida usando la Voc del sensor (ver Figura 9). Se ve allí que las temperaturas coinciden, tomando en cuenta los errores de la medición. Esto implica que se puede utilizar el radiómetro como termómetro (a través de la Voc) sin necesidad de termómetros adicionales.

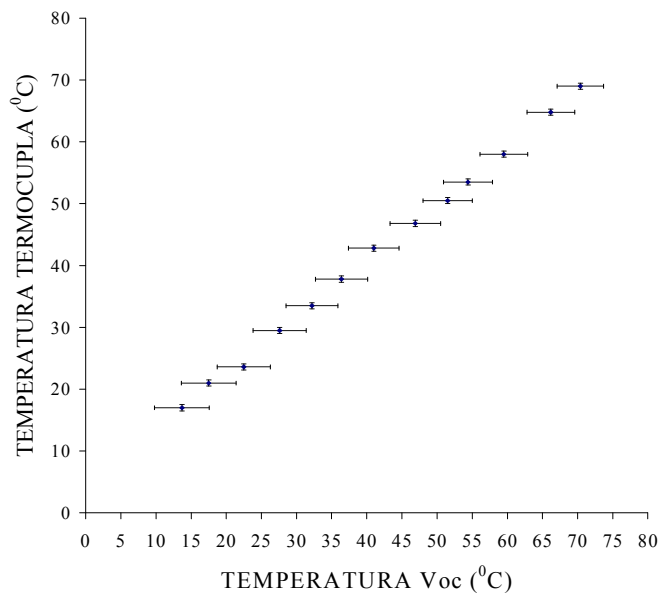


Figura 9: Gráfico de Temperatura medida con la termocupla contra la Temperatura medida usando la Voc del sensor.

CONCLUSIONES:

No se observaron variaciones en la salida del radiómetro al cambiar la temperatura. Este hecho implica que la medición de radiación solar usando el radiómetro fotovoltaico no depende (dentro de los límites de error) de la temperatura.

Por otro lado, el estudio de la variación de la Voc con la temperatura permitiría utilizar a la celda fotovoltaica como termómetro, pudiéndose realizar mediciones simultáneas de radiación y temperatura con el mismo radiómetro.

Como trabajo futuro se considera calibrar dicho radiómetro en condiciones ambientales reales.

REFERENCIAS.

- J.C. Durán, C.G. Bolzi, E.M. Godfrin, J.C. Plá, L.M. Merino, C.J. Bruno y M.J.L. Tamasi, *Fabricación de solarímetros de bajo costo en la Argentina. Algunas propuestas teóricas y primeras experiencias*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 2 (2), pág. 05.9-05.12 (1998).
- H. Grossi Gallegos, G. Renzini y O. Dursi. Actas del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (CLIMET IX) y VII Congreso Argentino de Meteorología CONGREMET VIII, (2001).
- C.G. Bolzi, M.J.L. Tamasi, M.G. Martínez Bogado, J.C. Plá, Radiómetros Fotovoltaicos de Bajo Costo Desarrollados en la CNEA: Prototipo Comercial, XXV Reunión de ASADES, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2002
- R. Lopardo, M. García y G. Atienza. Comportamiento de un detector fotovoltaico en distintas condiciones, Actas de la 15ª. Reunión de Trabajo de la ASADES, vol. I, pp. 5-11, La Plata, Argentina (1979).
- C.G. Bolzi, C.J. Bruno, J.C. Durán, M.G. Martínez Bogado, J.C. Plá, M.J.L. Tamasi. Desarrollo y aplicaciones de sensores de radiación de silicio monocristalino fabricados en CNEA. Trabajo enviado y aceptado para su publicación en las actas del Primer Congreso Nacional Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía, del 8 al 10 de junio de 2005 San Carlos de Bariloche, Argentina.2.
- Martin A. Green, Silicon Solar cells, Centre for photovoltaic device and systems, Australia. 1995

ABSTRACT

The dependence on temperature of the measured solar radiation using photovoltaic radiometers fabricated by the CNEA Solar Energy Group was studied. The experiment was performed with a specially designed device and holding a constant irradiance of 1 kW/m², while the temperature was varied in the range of 15 to 70°C by mean of a thermostatic base. It was observed that the irradiance measured resulted independent of temperature in the range considered. The temperature was measured simultaneously with the same PV sensor used by the radiometer, previously calibrated for this aim, and using a thermocouple mounted in the body of the radiometer.

Keywords: solar energy, solarmeters, sensors photovoltaic.