

Desarrollo de una instalación para reducir la temperatura de paneles fotovoltaicos y mejorar su eficiencia

Rocío Mazón-Hernández, Francisco Vera-García, Antonio Sánchez-Káiser, Blas Zamora-Parra
 Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Politécnica de Cartagena
 Campus Muralla del Mar, Doctor Fleming, s/n 30202 Cartagena (Murcia)
 E-mail: rmh@alu.upct.es, francisco.vera@upct.es, antonio.kaiser@upct.es, blas.zamora@upct.es

Resumen. La primordial prioridad de los paneles fotovoltaicos (PV) es la producción de electricidad. La transformación de la energía solar en electricidad depende de la temperatura de funcionamiento del módulo PV, de modo que para temperaturas elevadas el rendimiento de los paneles disminuye bruscamente. Ante este problema se sugieren diferentes técnicas de refrigeración usando agua o aire como fluido calorportador. Este estudio está enfocado a una nueva aplicación de los paneles PV, la cual consiste en colocar los paneles en el tejado de un invernadero, por consiguiente se centra en el uso de aire como medio de refrigeración. El objetivo que se persigue es garantizar una baja temperatura de funcionamiento para corregir y revertir los efectos negativos de la temperatura gracias a la circulación de aire por la cara posterior del panel.

1 Introducción

Las células fotovoltaicas permiten la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica con una eficiencia máxima en torno al 9-12%, dependiendo el tipo de células. Más del 80% de la radiación solar que llega a la célula PV no se convierte en electricidad sino que se refleja o se transforma en energía térmica.

El calor generado supone un aumento de la temperatura del módulo y consecuentemente una disminución del rendimiento en la conversión en energía eléctrica. Según Angrist et al. [1-3], esta relación inversa de la producción de energía eléctrica (eficiencia de conversión) con la temperatura se debe principalmente a la dependencia de la tensión de circuito abierto, V_{oc} , con la temperatura.

El efecto negativo del aumento de la temperatura sobre el rendimiento del panel es un factor importante a considerar especialmente en la aplicación que nos concierne dado que los paneles están colocados sobre el tejado de un invernadero, paralelos y próximos a él con una pequeña circulación de aire entre ambas superficies. (Figura 1)

En este estudio, analizaremos el efecto de la temperatura sobre el rendimiento para diferentes secciones de paso de aire, variando el grosor del conducto. El uso de aire como calorportador para enfriar los paneles PV se consigue creando un “efecto chimenea” provocado por la convección natural o forzada a través de un conducto de paso en la superficie posterior del panel, tal y como Tiwari et al. [4] sugiere.

En este trabajo se describe el desarrollo y montaje de una instalación para el estudio de diferentes geometrías del conducto de aire.

Además se incluye el análisis de incertidumbre de las

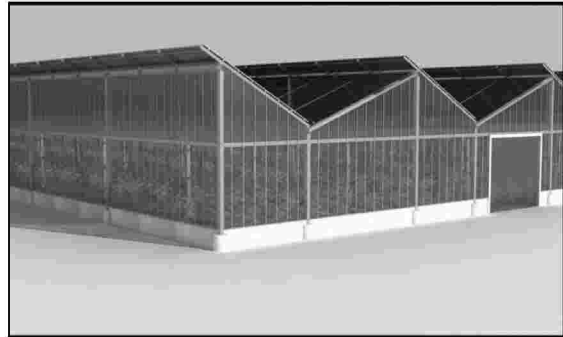


Fig.1 Paneles PV en invernaderos.

distintas variables medidas y las calculadas junto a los resultados experimentales obtenidos para diferentes secciones. Debido a la limitación de extensión de papel, sólo se incluyen los resultados obtenidos para sección constante en convección natural. Por último se presentan las conclusiones y descripción de trabajos que se siguen llevando a cabo.

2 Instalación Experimental

La instalación solar está formada por dos paneles tal y como se muestra en la Figura 2. Estos paneles son los mismos que se utilizarán en los invernaderos y han sido proporcionados por la empresa Apia XXI que colabora y apoya este estudio. Uno de los paneles (panel A) es el panel de referencia, permitiéndonos conocer las condiciones normales de funcionamiento mediante las medidas de temperatura de panel en diferentes puntos, tensión e intensidad. Con estos datos, podremos comparar el comportamiento con el otro panel (panel B), al cual se le ha construido un conducto de paso de aire en su cara posterior para diferentes secciones. En el panel B se medirá su temperatura en diferentes puntos (similar al panel A), tensión e intensidad, además de registrar la velocidad y temperatura del flujo de aire que circule por el conducto por convección natural.



Fig. 2. Paneles solares; panel izquierdo(A), panel derecho (B)

2.1 Instrumentación utilizada

La temperatura de los paneles se mide con RTDs a 4 hilos en cinco puntos simétricos del panel, también se utilizaran RTDs para registrar la temperatura del aire en el conducto en dos posiciones, en la entrada y la salida. La velocidad del aire se medirá con anemómetros de placa caliente.

Cada panel está conectado a una carga variable, la cual nos dará los valores de tensión e intensidad en condiciones de circuito abierto, cortocircuito y punto de máxima potencia. Por último, la radiación global es medida mediante un piranómetro, colocado en el plano paralelo a los paneles. Todos los datos se recogen y graban en un data logger.

3 Análisis de incertidumbre

La incertidumbre se define como "un parámetro asociado al resultado de una medida que caracteriza el rango de valores que pueden atribuirse a la medida". El concepto de incertidumbre refleja las dudas sobre la veracidad del resultado, una vez consideradas todas las posibles fuentes de error. Así que nos da una idea de la calidad de la medida y muestra el rango de valores dentro del cual se encuentra el valor estimado. El procedimiento seguido para su evaluación se describe a continuación.

En general, el resultado de una medida puede ser expresada por una magnitud x como: $x = \mu \pm u_i$ donde μ es el valor medido y u_i es la incertidumbre asociada.

Para calcular la incertidumbre de las variables directamente medidas, debemos de identificar dos tipos de incertidumbre, clase A y clase B. La incertidumbre de clase A, se obtiene por métodos estadísticos a partir de la desviación típica de un conjunto de valores y la clase B es la incertidumbre asociada a cada sensor. Así la incertidumbre total se

obtiene a partir de; $U = \sqrt{U_{clase A}^2 + U_{clase B}^2}$
Sin embargo, la irradiancia, potencia y rendimiento del panel no se miden directamente, ya que se calculan a partir de las variables medidas. Para obtener su incertidumbre debemos aplicar la "ley de propagación de incertidumbres". Si una variable (Y) se obtiene a partir de otras medidas y correlacionadas

(X_1, X_2, X_3, \dots), es decir $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots)$, su incertidumbre viene dada por: $U_c(Y) =$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 U^2(X_i) + 2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right) \left(\frac{\partial f}{\partial X_j}\right) r(X_i, X_j) U(X_i) U(X_j)}$$

donde $r(X_i, X_j)$ es el coeficiente de regresión. [5]

Los resultados obtenidos en el análisis de incertidumbre (tabla 1) son muy buenos, lo que significa que los datos recogidos son suficientemente fiables.

Variables medidas	U _{clase A}	U _{clase B}	U _{total}
Tª panel	0,542°C	0,300°C	0,619°C
Tª aire	0,956°C	0,150°C	0,967°C
Velocidad aire	0,000m/s	0,060m/s	0,060m/s
Irr/m ²	6,232W/m ²	1,111W/m ²	6,331W/m ²
Área panel	0,001 m ²	0,001 m ²	0,0014 m ²
Voltaje	0,401 V	0,100 V	0,414 V
Intensidad	0,167 A	0,200 A	0,264 A
Variables calculadas	Función de dependencia		U _{total}
Irradiancia	I = (Irr/m ²)*Área		11,317 W
Potencia max	P _m = V _m *I _m		2,628 W
Rendimiento	$\eta = P_m/I = V_m * I_m / (Irr/m^2) * \text{Área}$		0,0018

Tabla 1. Incertidumbre de las variables

4 Influencia de la temperatura. Resultados obtenidos.

En este apartado estudiaremos la influencia negativa de la temperatura sobre las variables eléctricas comparando el panel A de referencia y el panel B, paralelo a otra superficie inferior. Se han realizado cuatro ensayos para diferentes secciones del conducto de aire, variando su espesor "b".

Los valores de cada variable se han medido desde 8.00 a 15.00h. Cada hora se han tomado 25 valores de cada variable para obtener un valor promedio y evitar así los posibles errores en las medidas o las posibles incertidumbres en la toma de datos. Se han considerado cuatro disposiciones del panel a ensayar, estas son; Caso 1 ($b = 0.075 m$), caso 2 ($b = 0.105 m$), caso 3 ($b = 0.135 m$) y caso 4 ($b = 0.165 m$).

Para el caso 1 ($b = 0.075 m$) y el caso 2 ($b = 0.105m$), con pequeño espesor del conducto de aire, para valores altos de irradiancia (>700W), el panel B está 8-10°C más caliente que el panel A. (Fig. 3). Sin embargo, en caso 3 ($b = 0.135m$) y el caso 4 ($b = 0.165m$), donde la sección del conducto de aire es mayor, la diferencia de las temperaturas de los paneles es de 5° C (Fig. 4). Para irradiancias menores 700W, en los casos 3 y 4 podemos ver que ambos paneles están más o menos a la misma temperatura mientras que en los casos 1 y 2 el panel B está entre 5-10 °C por encima del panel A.

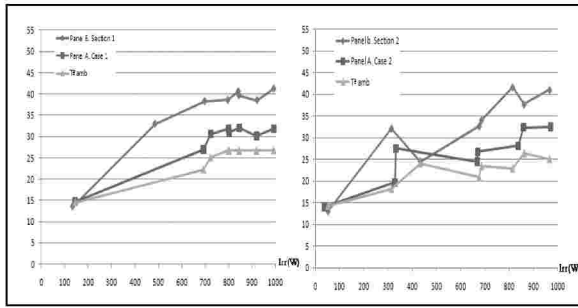


Fig. 3. Temperaturas de los paneles. Caso 1 y 2

Por consiguiente, cuando el panel está colocado muy próximo a una superficie inferior, su temperatura es mayor, mientras que si separamos ambas superficies habrá una mayor transferencia de calor entre el panel y el aire, el panel no estará tan caliente y su rendimiento mejorará.

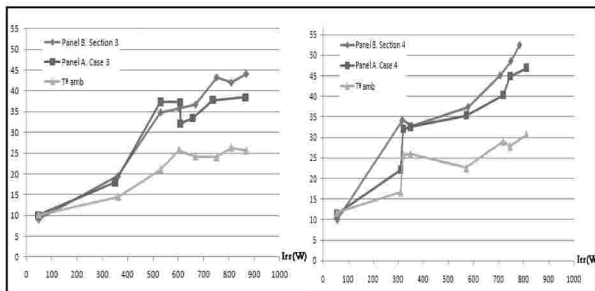


Fig. 4. Temperaturas de los paneles. Caso 3 y 4

Como se mencionó anteriormente, la temperatura tiene un efecto negativo sobre el rendimiento del panel. La figura 5 muestra la relación de la tensión e intensidad en el punto de máxima potencia (P_{max}) con la temperatura. Se observa que la tensión a P_{max} disminuye un 15% con el aumento de la temperatura mientras que la corriente a P_{max} aumenta un 65% con la temperatura del panel. La disminución de la tensión es menor que el aumento de la intensidad, por lo tanto la potencia máxima aumentará ligeramente con la temperatura del panel pero el aumento de la irradiancia es mucho mayor por lo que el rendimiento del panel definido por $\eta = P_m / I_{rr}$ disminuirá con la temperatura.

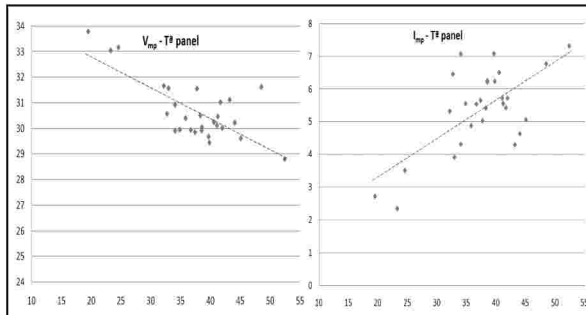


Fig. 5. Influencia de la temperatura sobre la tensión e intensidad

En los casos 1 y 2 con pequeñas secciones, el calor transferido entre el panel y el aire es menor que los casos 3 y 4, por lo que el panel está más caliente y su rendimiento será menor. Esto se ilustra en la Figura 6. Podemos observar que para temperaturas mayores a 40°C, el rendimiento del panel en los casos 3 y

4 (mayor separación entre panel y superficie inferior) es mayor un 2% que en los casos 1 y 2.

Cuando el panel PV se coloca próximo a una superficie inferior alcanza mayores temperaturas, la transferencia de calor entre el panel y el aire es menor y su rendimiento disminuye más rápidamente para altas temperaturas. De modo que la separación entre ambas superficies es un factor determinante en el rendimiento de una instalación PV.

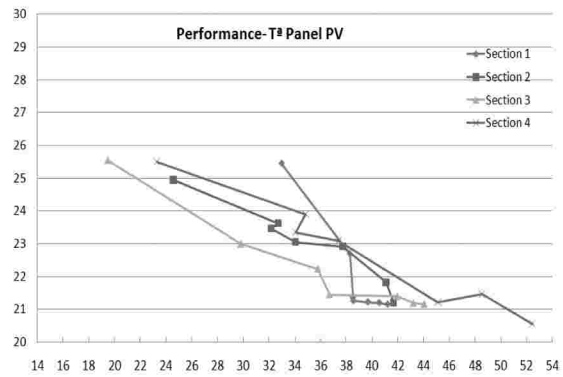


Fig. 6. Rendimiento del panel en diferentes casos

5 Conclusiones

Este artículo describe brevemente la instalación construida y ensayada para estudiar y analizar la mejora del rendimiento de paneles PV colocados sobre la cubierta de un invernadero, al aumentar la sección de paso de aire mediante convección natural. El análisis de la incertidumbre llevado a cabo nos muestra que las variables medidas y calculadas son suficientemente fiables.

Los resultados obtenidos en diferentes casos concluyen que la separación entre el panel y la cubierta debe ser lo suficientemente grande para que el panel quede refrigerado y mejore su rendimiento.

Referencias

- [1] Angrist S. Direct energy conversion. Boston: Allyn and Bacon; 1982.
- [2] Hu C, White R. Solar cells: from basic to advance systems. New York: McGraw-Hill; 1983.
- [3] Graff K, Fischer H. Carrier lifetime in silicon and its impact on solar cell characteristics. In: Seraphin BO, editor. Topics in applied physics – solar energy
- [4] Arvind Tiwari, M.S. Sodha, Avinash Chandra, J.C.Joshi. Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India. Solar Energy Materials & Solar Cells 2006; 90: 175–189.
- [5] Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical note 1297, 1994 Edition.