

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EL PANEL FOTOVOLTAICO SP150P

DESIGN, CONSTRUCTION AND
EVALUATION OF A REFRIGERATION
SYSTEM FOR THE SP150P
PHOTOVOLTAIC PANEL

DESENHO, CONSTRUÇÃO E
AVALIAÇÃO DE UM
SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO PARA O
PAINEL FOTOVOLTAICO
SP150P

Guillermo Gallo Miranda

Universidad Antonio Nariño Sede Tunja
ggallo51@uan.edu.co

Jefferson Salamanca Cárdenas

Universidad Antonio Nariño Sede Tunja
jefferson.salamanca@uan.edu.co

Carlos Batista Rodríguez

Universidad Antonio Nariño Sede Tunja
carlos.batista@uan.edu.co

Saúl Hernández Moreno

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja
saul.hernandez@usantoto.edu.co

Fecha de Recepción: 26 de abril de 2020
Fecha de aprobación: 12 de junio de 2020

Resumen

Con la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles se ha desarrollado ampliamente la tecnología de paneles solares fotovoltaicos, con precios asequibles en el mercado. Colombia posee un gran potencial solar para generar energía eléctrica por medio de paneles solares. Inherente a su funcionamiento está el inconveniente de la elevación de su temperatura, lo cual afecta su funcionalidad. En este trabajo se trazó como objetivo: evaluar un sistema de refrigeración para un panel fotovoltaico SP150P, instalado en la azotea de la Universidad Antonio Nariño, en Tunja en la latitud de 5.553 grados N y longitud W de 77.367 grados. Se realizó un análisis estadístico de las temperaturas inicialmente registradas y almacenadas con el uso de termocuplas colocadas en diferentes puntos del panel. Los resultados anteriores permitieron el dimensionamiento del sistema de refrigeración. En el diseño se tuvieron en cuenta además otras variables, como altura, velocidad del viento y emplazamiento geográfico del panel. Se calculó el régimen del flujo, mediante el número de Reynolds y los procesos de transferencia de calor por conducción, convención y radiación desde el panel hacia el intercambiador de calor, lo que permitió determinar los parámetros necesarios de la electroválvula que controlaría el flujo por gravedad desde un depósito colocado en una cota superior al panel. Estos resultados demuestran la factibilidad de reducir la temperatura de los paneles solares y mejorar su eficiencia, siendo viable su implementación a niveles industriales o en otras aplicaciones potenciales.

Palabras clave— Panel fotovoltaico, sistema refrigeración, transferencia calor, radiación solar.

Abstract

With the need to reduce dependence on fossil fuels, photovoltaic solar panel technology has been widely developed, with affordable prices on the market. Colombia has great solar potential to generate electrical energy through solar panels. Inherent in its operation is the drawback of raising its temperature, which affects its functionality. The objective of this work was: to evaluate a refrigeration system for a photovoltaic panel SP150P, installed on the roof of the Antonio Nariño University, in Tunja at the latitude of 5,553 degrees N and longitude W of 77,367 degrees. A statistical analysis of the temperatures initially recorded and stored was performed with the use of thermocouples placed at different points on the panel. The previous results allowed the sizing of the refrigeration system. Other variables, such as height, wind speed and geographic location of the panel, were also taken into account in the design. The flow regime was calculated using the Reynolds number and the heat transfer processes by conduction, convention and radiation from the panel to the heat exchanger, which allowed determining the necessary parameters of the solenoid valve that would control the flow by gravity from a tank placed at a height above the panel. These results demonstrate the feasibility of reducing the temperature of the solar panels and improving their efficiency, making it feasible to

implement them at industrial levels or in other potential applications.

Keywords— Photovoltaic panel, cooling system, heat transfer, solar radiation.

Resumo

Com a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, a tecnologia de painéis solares fotovoltaicos foi amplamente desenvolvida, com preços acessíveis no mercado. A Colômbia tem um grande potencial solar para gerar energia elétrica através de painéis solares. Inerente a sua operação é a desvantagem de aumentar sua temperatura, o que afeta sua funcionalidade. O objetivo deste trabalho foi: avaliar um sistema de refrigeração para um painel fotovoltaico SP150P, instalado no telhado da Universidade Antonio Nariño, em Tunja, na latitude de 5.553 graus N e longitude W de 77.367 graus. Uma análise estatística das temperaturas inicialmente registradas e armazenadas foi realizada com o uso de termopares colocados em diferentes pontos do painel. Os resultados anteriores permitiram o dimensionamento do sistema de refrigeração. Outras variáveis, como altura, velocidade do vento e localização geográfica do painel, também foram levadas em consideração no projeto. O regime de fluxo foi calculado usando o número de Reynolds e os processos de transferência de calor por condução, convecção e radiação do painel para o trocador de calor, o que permitiu determinar os parâmetros necessários da válvula solenóide que controlaria o fluxo por gravidade, de um tanque colocado a uma altura acima do

painel. Esses resultados demonstram a viabilidade de reduzir a temperatura dos painéis solares e melhorar sua eficiência, viabilizando sua implementação em níveis industriais ou em outras aplicações potenciais.

Palavras chave— Painel fotovoltaico, sistema de refrigeração, transferência de calor, radiação solar.

Introducción

El paulatino agotamiento de los combustibles para la generación de energía eléctrica ha llevado a que se exploren otros tipos de recursos, como la energía solar cuya gran ventaja es que se puede encontrar en cualquier parte, sin costo alguno. Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo de plantas solares a gran escala porque recibe un 30% más de radiación solar que otros países [1], debido a su ubicación geográfica. La producción en masa de paneles fotovoltaicos y el avance de la tecnología para su fabricación han hecho que disminuyan sus costos y sean más accesibles. Pese a sus innegables ventajas, los paneles fotovoltaicos tienen el inconveniente de que al generar energía eléctrica se calientan y ese aumento de temperatura afecta su funcionamiento. Varias investigaciones han probado que al refrigerar el panel se puede alcanzar un aumento de eficiencia hasta del 4%.

Este trabajo se propuso aportar al mejoramiento de los sistemas fotovoltaicos, mediante el diseño y construcción de un sistema de refrigeración para el panel fotovoltaico SP150P ubicado en la azotea de la

sede Tunja de la Universidad Antonio Nariño, localizada en 5.553 grados de latitud N y 77.367 grados de longitud Oeste. La construcción del sistema se realizó con materiales comerciales para que su implementación resultara más fácil y asequible a futuros usuarios potenciales.

Existen varios tipos de sistemas de refrigeración, en el proyecto se utilizó refrigeración líquida. Como su nombre lo indica, utiliza un líquido, "agua", como medio para extraer el calor de otras superficies. El sistema consta de un serpentín rectangular para favorecer el área de contacto entre superficies y, mediante el flujo de agua por este, disminuir la temperatura del panel. Posterior a la construcción se instala un sensor de temperatura en el panel y se toman diferentes lecturas para evidenciar su funcionamiento.

Conocer las propiedades mecánicas de los materiales es esencial para las aplicaciones en ingeniería, tanto para diseño y puesta en marcha sistemas mecánicos [2].

Se consultaron diferentes trabajos para la realización de este proyecto como: Sistema de

refrigeración líquida de los paneles solares fotovoltaicos [3], Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones [4].

Modelamiento térmico de un panel fotovoltaico con disipador de calor operando en el norte de Chile [5], Paneles solares para calefacción y refrigeración [6], Creación paneles solares que se auto-enfrían [7], Solar-Powered Refrigeration System, [8].

La metodología experimental teniendo en cuenta la búsqueda de información que son la base metodológica son los más efectivos, para los cuales las condiciones se adaptan de manera similar a realizar mediciones y caracterizaciones [9].

Metodología

Para la realización de los cálculos se tuvo en cuenta la disposición física de los diferentes elementos donde se encuentra ubicado el panel (Fig. 1).

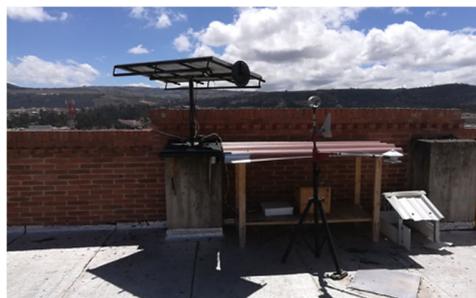


Fig. 1. Lugar donde se encuentra ubicado el panel fotovoltaico SP150P.
Fuente: Autores.

Los datos de las diferentes dimensiones se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1: Dimensiones y otras características del sistema hidráulico para el sistema de refrigeración.

Características	Siglas	Medida	Unidad	Anotación
Altura del tanque de agua	Hta	0.8	metros	
Altura de diferencia entre la cota del panel y el tanque.	Hdt	0.5	metros	Subiendo el tanque 1.4 m sobre su columna
Longitud de tubería.	Lt	3.2	metros	2.7 hz + 0.5 v
Longitud equivalente accesorios	Le	3	metros	Accesorios
Viscosidad del agua	Va	1.01E-03	Pa.s	A 20°C
Diámetro	Dt	16	mm	
Rugosidad tubería pvc	E	0.0015	mm	para PVC
Densidad del agua	P	994	Kg/m3	A 35°C
Diámetro tanque	Dtn	0.6	metros	

Fuente: Autores.

Para la construcción y cálculo del sistema de refrigeración se tuvieron en cuenta las temperaturas generadas en el panel, las cuales servirán como base para el dimensionamiento de los dispositivos. Para tener una idea de la distribución de la temperatura en el panel se tomaron datos con dos sensores de temperatura tipo Ntc 100k, los cuales luego fueron comparados.

Con base en los datos de la Tabla 1 y en los datos estadísticos obtenidos de medidas de tendencia central como: media, mediana y moda [10], que ayudan a observar los datos representativos y las medidas de dispersión como rango, desviación estándar y varianza

[11], se puede calcular la dispersión del conjunto de temperaturas leídas. Esta última se determina mediante la ecuación (1).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^1 f_i (y_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1)$$

Donde:

S^2 : Varianza
 f_i : Frecuencias
 y : Punto medio de la clase
 \bar{x} : Valor de la media.
 n : Número de elementos.

Se calcula el sistema de refrigeración después del análisis de los datos, se usa la ecuación de factor de fricción de Darcy-Weisbach (2) [12], para poder determinar la velocidad del fluido, luego se calcula el caudal.

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right] \right\}} \quad (2)$$

Donde:

ϵ - rugosidad del material
 F - factor de fricción de Darcy (adimensional)
 D - diámetro de la tubería. (m)
 Re - Numero de Reynolds, [13].

Con los cálculos iniciales del sistema se empieza a analizar la transferencia de calor que se tendrá. Para tal fin se determina la resistencia térmica del material, perfil de aluminio en este caso, se realiza el cálculo de conducción (3), [14] y luego se evalúa la convección interna forzada (4), [14]. Se procede con el cálculo de los números de Reynolds (5) [15], Prandtl (6) y (7) [16], y Nusselt (8) [13]. Las ecuaciones mencionadas aparecen a continuación.

$$Q_{CONDUCCION} = KA \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta X} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (w) \quad (3)$$

Donde:

K - Conductividad térmica del material
 A - Área transversal a través de la cual pasa la energía
 T1 - Temperatura de mayor valor
 T2 - Temperatura de menor valor
 ΔX - Espesor de la pared

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (4)$$

Donde:

Ac - Área de la sección transversal del tubo
 P - Perímetro
 Dh - Diámetro hidráulico

$$Re = \frac{V_{prom} * Dh}{\nu} \quad (5)$$

Donde:

Re - Número de Reynolds
 Vprom - Velocidad promedio del fluido
 Dh - Diámetro hidráulico
 ν - Viscosidad cinemática

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad \text{Conducción} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad \text{Convección} \quad (7)$$

Donde:

ν - Viscosidad cinemática
 α - Difusividad térmica
 Cp - Capacidad calorífica a presión constante
 μ - Viscosidad.

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (9)$$

Donde:

h - Coeficiente de transferencia de calor por convección

Después de calculado el sistema de refrigeración, se pone en marcha y se verifica su funcionamiento mediante nuevas lecturas de temperatura.

Resultados y discusión

Como se puede observar en la Figura 2, se realizó una tabla de frecuencias de las lecturas de los dos sensores, previas a la instalación del sistema de refrigeración, estas muestran que la distribución de la temperatura en el panel se puede considerar uniforme y además es claro que temperaturas entre 18 y 23 °C son las que más se repiten.

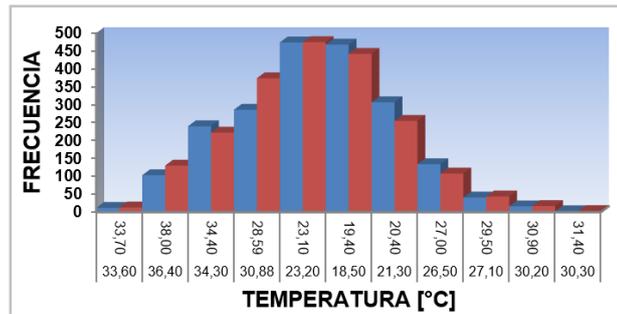


Fig. 2: Frecuencias de las temperaturas tomadas por los sensores.
Fuente: Autores.

En la Tabla 2 se observan las medidas de tendencia central de los datos de temperatura que muestran gran similitud entre media, mediana y moda, lo que permite suponer una distribución normal de los datos.

Tabla 2: Medidas de tendencia central, sensores 1 y 2.

MEDIDA	VALOR
Media	30,5

Fuente: Autores.

Tabla 3: Medidas de dispersión de las lecturas de temperatura.

MEDIDA	VALOR
Desviación típica	8
Varianza	72
Máximo	58
Mínimo	10
Rango	49

Fuente: Autores.

En la Tabla 3, se puede observar una amplia dispersión de los datos, que se explica por los cambios de temperatura durante el día. Tal dispersión no es un problema, ya que el sistema se debe diseñar para funcionar en condiciones límite, es decir, en las mayores temperaturas registradas.

En la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos para la velocidad, el número de Reynolds, la fricción interna y el caudal. Un número de Reynolds tan alto implica que el flujo interno en la tubería es turbulento, lo cual favorece la transferencia de calor debida a la convección interna.

Tabla 4: Velocidad, número de Reynolds y fricción.

V	0,4	m/s
Re	5783,7	adimensional
F	0,1	adimensional
Q	7,32E-05	m ³ /s

Fuente: Autores.

En la Tabla 5, se muestra la resistividad térmica por radiación y convección del sistema refrigerante.

Tabla 5: Resistividad térmica.

Resistividad térmica	Símbolo	Medida	Unidades
Resistencia térmica por conducción	Rcond	5,02E-06	K/w
Resistencia térmica por convección	Rconv	4,411	k/w

Fuente: Autores.

Recomendaciones y Discusión

En trabajos futuros, se recomienda evaluar la utilización del agua que circula por el sistema de refrigeración para otros fines,

aprovechando la temperatura ganada por la misma.

Existen diferentes tipos de sistemas de refrigeración utilizados en los proyectos de investigación. Una de las características más importantes en la construcción del sistema aquí descrito es el perfil de aluminio que se utiliza. Si bien no tiene las mismas propiedades de transferencia de calor que el cobre, estas son muy cercanas. Este perfil favorece a la transferencia de calor por su geometría rectangular y ayuda a tener mayor área de contacto entre el panel y el sistema de refrigeración.

Conclusiones

El sistema de refrigeración mantiene al panel fotovoltaico en un rango de temperaturas aceptable para el funcionamiento, evitando que esta se eleve y afecte sus diferentes componentes y su desempeño.

El sistema de refrigeración líquida es una opción viable para la reducción de la temperatura en este tipo de paneles fotovoltaicos, además su implementación se podría extender a otros tipos de paneles.

El perfil de aluminio rectangular para el aprovechamiento del área de contacto es una buena opción para reemplazar los ductos de cobre convencionalmente utilizados para este tipo de sistemas de refrigeración.

Las temperaturas generadas en el panel fotovoltaico casi duplican la temperatura ideal para su funcionamiento en las horas cercanas al mediodía. Esto indica que, si no se cuenta

con un dispositivo de refrigeración, se estaría desaprovechando el potencial del panel, debido a la afectación en su rendimiento.

Referencias

- [1] Colombia sería potencia en energía solar porque recibe 30% más radiación. (n.d.).
- [2] Hernández, S. A., & Rivera, E. C. (2018). Análisis teórico-práctico de esfuerzos y por elementos finitos de un ensayo de tracción. *Ingenio Magno*, 9(1), 42-55.
- [3] Sistema_refrigeracion_liquida.pdf. (n.d.). Solar-Powered Refrigeration System. (2018, October).
- [4] Sierra, J. (n.d.). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones, 10.
- [5] Silva, S. A. M. (2013). Modelamiento térmico de un panel fotovoltaico con disipador de calor operando en el norte de Chile. Universidad de Chile, Chile.
- [6] Paneles solares para calefacción y refrigeración, EcoHabitar § (2014).
- [7] Crean paneles solares que se auto-enfrían, Blogthinkbig.com § (2014).
- [8] National Aeronautics and Space Administration, «Solar-Powered Refrigeration System», 21-oct-2018. [En línea]. Disponible en: <https://technology.nasa.gov/patent/MS-C-TOPS-7>. [Accedido: 21-oct-2018].
- [9] Moreno, S. A. H., Ramirez, E. R., Bonilla, Á. D. L., Contreras, G. G. M., & García, B. F. O. (2019). CHARACTERIZATION OF A MONOCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC SOLAR PANEL WITH COOLING TO IMPROVE ITS PERFORMANCE. *Technology*, 10(11), 297-306.
- [10] Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. (2014). *Introducción a la Probabilidad Y Estadística*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- [11] Monroy Saldivar, S. (2005). *Estadística descriptiva*. México, D.F., MEXICO: Instituto Politécnico Nacional.
- [12] Factor de fricción de Darcy. (2017, June). In Wikipedia, la enciclopedia libre.
- [13] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica 7a Edición (7th ed.)*. MCGRAW-HILL.
- [14] Çengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a ed.) (3a ed.)*. Distrito Federal, UNKNOWN: McGraw-Hill Interamericana.
- [15] Número de Reynolds. (2018, September). In Wikipedia, la enciclopedia libre.
- [16] Número de Prandtl. (2018, July). In Wikipedia, la enciclopedia libre.