

(05-033) - OPTIMIZATION OF ELECTRICAL PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS BY REDUCING THE EXTERNAL TEMPERATURE THROUGH PASSIVE AND ACTIVE OPERATIONAL COOLING TECHNIQUES

Felix Benitez, Joan M. ¹; Ramos Ciprián, Rubén Darío ¹; Puello Hernandez, Jeffrey J. ¹; Velez Ducos, John J. ¹; Salavert Fernández, José Miguel ²

¹ Universidad Central del Este, ² Universitat Politècnica de València

The production of energy through photovoltaic solar panels (PSFV) is positioned as a most useful renewable source for this purpose. This innovation takes advantage of direct sunlight to generate energy and its ease of installation has attracted significant investment from different sectors. This article shows an exhaustive analysis of cooling techniques for photovoltaic panels focused on passive and active cooling methods. Within the passive method, the quantitative analysis of the considerable reduction in temperature is shown using the installation of fixed blades on the back of the photovoltaic panels, increasing the contact area between the panel and the ambient air, taking advantage of cooling by heat transfer by natural convection. On the other hand, the analysis of the active method through liquid cooling is shown with a cooling coil that acts in a closed circuit using water as a working method. Each of these methods are modeled using CFD presenting the simulated schemes, in addition to the comparative analysis between the two methods, offering valuable guidance and insights on how to improve efficiency to increase power generation with PSFV.

Keywords: Cooling techniques; Photovoltaic panel; Thermo-energy simulation.

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DE PLACAS SOLARES FOTVOLTAICAS REDUCIENDO LA TEMPERATURA EXTERNA MEDIANTE TÉCNICAS DE ENFRIAMIENTO OPERACIONAL PASIVAS Y ACTIVAS

La producción de energía mediante placas solares fotovoltaicas (PSFV) se posiciona como una fuente renovable de mayor provecho para este fin. Esta innovación aprovecha la luz solar directa para generar energía y su facilidad de instalación ha atraído una importante inversión desde diferentes sectores. En este artículo se muestra un análisis exhaustivo sobre las técnicas de enfriamientos para placas fotovoltaicas enfocado en los métodos de enfriamiento pasivo como activo. Dentro del método pasivo se muestra el análisis cuantitativo de la reducción considerable de la temperatura utilizando la instalación de álabes fijos en la parte posterior de las placas fotovoltaicas, aumentando el área de contacto entre el panel y el aire ambiental, aprovechando un enfriamiento por la transferencia de calor por convección natural. Por otro lado, se muestra el análisis del método activo a través de refrigeración líquida con una bobina de enfriamiento que actúa en un circuito cerrado utilizando agua como método de trabajo. Cada uno de estos métodos se modelan utilizando CFD presentando los esquemas simulados, además del análisis comparativo entre los dos métodos, lo que ofrece una valiosa guía y conocimientos de cómo mejorar la eficiencia para aumentar la generación de energía con (PSFV).

Palabras clave: Técnicas de enfriamiento; Panel fotovoltaico; Simulación termo energética

Correspondencia: Ruben Dario Ramos Ciprian, rubenramos@uce.edu.do

Agradecimientos: Esta investigación fue financiada por el Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCYT) del Ministerio de



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Educación Superior Ciencia y Tecnología de la República Dominicana (MESCYT) a través del proyecto FONDOCyT-2023-1-3C3-0560.

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente de energía renovable crucial que puede ayudar a resolver problemas globales. Existen muchas razones para aumentar su cuota de mercado energético (Widodo Besar Riyadi, Effendy, Radiant Utomo, & Tri Wijayanta, 2023). Los paneles solares fotovoltaicos (PSFV) son dispositivos ingeniosamente diseñados que aprovechan la energía del sol, una fuente de energía inagotable y completamente renovable, para generar energía eléctrica o calor. Esta capacidad de convertir la luz solar en una forma de energía utilizable es lo que los hace tan valiosos en nuestra búsqueda constante de fuentes de energía sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Afzal, Buradi, Jilte., Shaik, Kaladgi, Arıcı, et al, 2023). La cantidad de energía que llega a la Tierra en una hora equivale al consumo de energía mundial en un año (Fernández-González, Ruiz-Bustanza, González-Gasca, Piñuela Noval, Mochón-Castaños, Sancho-Gorostiaga, et al, 2018), (Capacho, Colmenares, & Espinosa, 2018). Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas, estos paneles también se enfrentan a algunos desafíos significativos. Uno de los más notables es el tema de la refrigeración al someterse en constante temperatura en el exterior (Oyola, Gordillo, 2007). La eficiencia de un panel solar puede verse afectada por el calor excesivo, y la gestión de este calor es un aspecto crucial de la operación de un panel solar. Cuando un panel solar se calienta demasiado, su capacidad para convertir la luz solar en electricidad disminuye, lo que reduce su rendimiento general. Este es un desafío que los ingenieros y científicos han estado tratando de superar durante años.

Se necesita más energía renovable para aliviar la crisis energética global, particularmente en los países emergentes. La energía solar debe optimizarse para satisfacer la demanda de energía. El progreso de la energía solar se ve obstaculizado (Vargas Cortes, 2024), (Arencibia-Carballo, 2016). Los desafíos son las tecnologías, la legislación, la economía y la confiabilidad (Montesino Torres, & Mejia Mielles, 2019). Al optimizar estos aspectos, se fortalece la confiabilidad del sistema de energía solar. El uso eficiente de la energía solar optimiza la producción.

Además, el calor excesivo no solo afecta al rendimiento de los paneles solares, sino que también puede tener un impacto en su durabilidad (Preciado Garcés, 2017). El calor puede causar estrés en los materiales del panel, lo que puede llevar a un desgaste más rápido y, en última instancia, a una vida útil más corta del panel. Por lo tanto, la refrigeración es un aspecto esencial en el diseño y la operación de los paneles solares, y es un área de investigación activa en el campo de la energía solar.

La tecnología de enfriamiento para paneles solares ha experimentado una evolución significativa a lo largo de los años (Aparicio, 2020). Los desafíos de la acumulación de calor en los paneles solares han sido un área de investigación activa, ya que el calor excesivo puede ser perjudicial para el rendimiento de los paneles solares y limitar su eficiencia. Uno de los métodos eficaces de refrigeración es el uso de agua como refrigerante, que ayuda a disipar el exceso de calor de los paneles solares. Los sistemas de refrigeración a base de agua mantienen las temperaturas de funcionamiento óptimas, mejorando así la eficiencia y la producción de energía de los paneles solares.

La intensidad de la radiación solar también es vital para el funcionamiento del sistema de energía solar. La variación en la irradiación solar diaria influye en la producción del sistema solar fotovoltaico. Las variables climáticas afectan la confiabilidad del sistema de energía solar. Optimizar la confiabilidad y eficiencia del sistema solar es crucial. Para aumentar la eficiencia del sistema solar, es necesario desarrollar enfoques de optimización. La radiación solar, la temperatura del aire y la velocidad del viento afectan la eficiencia de un sistema fotovoltaico (Linares Rojo, 2022). Recientemente, se han utilizado enfoques de optimización de la inteligencia para mejorar el rendimiento del sistema solar. Sunbooster (Salehi, Jahanbakhshi, Reza Goltarian, & Khojastehpour, 2021), una empresa francesa, ha desarrollado una tecnología que utiliza una fina película de agua para enfriar los módulos solares cuando la temperatura ambiente

supera los 25° C. Esta solución recoge agua de los depósitos de agua de lluvia, la recicla, filtra y almacena de nuevo, facilitando un aumento anual de la generación de energía de entre el 8% y el 12%.

La refrigeración pasiva es un método que no requiere energía externa para enfriar los paneles solares. Un ejemplo de esto es el uso de materiales de cambio de fase (PCM) como la parafina. Los PCM pueden absorber, almacenar y liberar grandes cantidades de calor en un rango de temperaturas definido. En este caso, la parafina absorbe el calor excesivo de los paneles solares, ayudando a mantener su temperatura óptima. Este es un método de refrigeración muy eficiente que puede ayudar a prolongar la vida útil de los paneles solares y mejorar su rendimiento (Sahay, Sethi, Tiwari, & Pandey, 2015).

Por otro lado, la refrigeración activa implica el uso de energía para enfriar los paneles solares. Un ejemplo notable es el uso de sistemas activos de refrigeración a base de agua. En este método, el agua se utiliza como refrigerante para disipar el exceso de calor de los paneles solares. El agua absorbe el calor generado por los paneles y lo transporta, evitando la acumulación de calor. Este es un método de refrigeración muy efectivo que puede ayudar a mantener la eficiencia de los paneles solares.

Las tendencias futuras de las tecnologías de refrigeración solar apuntan hacia una mayor eficiencia y asequibilidad. Con los constantes avances en la tecnología de los refrigeradores de absorción de gran eficiencia y el desarrollo de tecnologías mejoradas de almacenamiento térmico, se espera que los sistemas de refrigeración solar alcancen niveles de eficiencia por encima del 70% (Marcelo, 2009), lo que se traducirá en un importante ahorro energético y una mayor sostenibilidad. Por otro lado, la investigación en materiales avanzados para una mejor absorción y conversión de energía solar en generación de frío seguirá siendo clave para mejorar el rendimiento global de estos sistemas. En conjunto, estas tendencias son de buen augurio para el futuro de las tecnologías de refrigeración solar, que podrían revolucionar el mercado de la refrigeración y contribuir positivamente a la construcción de un futuro más ecológico y sostenible.

Ambos métodos de refrigeración son vitales para mantener la eficiencia de los paneles solares. El calor excesivo puede ser perjudicial para el rendimiento de los paneles solares y limitar su eficiencia. Por lo tanto, la refrigeración, ya sea pasiva o activa, juega un papel crucial en la optimización del rendimiento de los paneles solares.

Este trabajo tiene como objetivo examinar el rendimiento de los PSFV utilizando sistemas de enfriamiento activo A.2, mediante el enfriamiento líquido, utilizando agua como fuente de trabajo impulsada por una bomba eléctrica y el enfriamiento pasivo B.1, utilizando el aire en convección libre impactando el PSFV. El enfoque combinado emplea más extracción de calor lo que lleva a un aumento de generación de energía eléctrica solar mediante PSFV.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

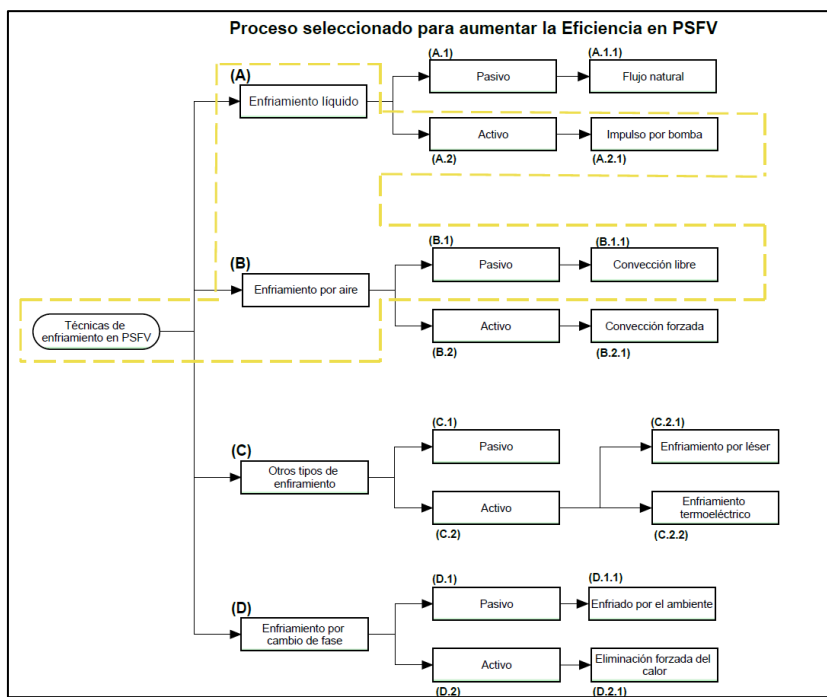
Uno de los problemas más importantes es el calentamiento excesivo de los paneles solares, que reduce su eficiencia de conversión y acorta su vida útil. Esto se debe a que la temperatura de los paneles influye en la resistencia eléctrica de las células fotovoltaicas, lo que disminuye el voltaje y la potencia de salida. Además, el calor puede provocar la degradación o el agrietamiento de los materiales.

La calidad y la fiabilidad de los paneles. Según un estudio, por cada grado centígrado que aumenta la temperatura de los paneles, se pierde entre un 0.5% y un 0.6% de eficiencia.

Para evitar este problema, se requiere de un sistema de enfriamiento que pueda disipar el calor generado por los paneles y mantenerlos a una temperatura óptima. Sin

embargo, este sistema también presenta algunos desafíos, como el costo, la complejidad o la dificultad de implementación. Existen diferentes tipos de tecnologías de enfriamiento para los paneles solares, las cuales se reflejan en el resumen gráfico de este artículo (figura 1).

Figura 1: Resumen del estudio realizado y selección de estrategias del caso de estudio



El enfriamiento por líquido (A) es más eficiente que el enfriamiento por aire porque el agua tiene una mayor capacidad calorífica que el aire. Esto significa que puede absorber más calor por unidad de volumen. El enfriamiento por líquido se usa a menudo en aplicaciones donde se requiere una alta tasa de transferencia de calor, como en electrónica y motores de combustión interna. Por otro lado, el enfriamiento por aceite se utiliza a menudo en aplicaciones donde el agua no es adecuada, como en sistemas hidráulicos y cajas de cambios.

El enfriamiento por aire (B) es el tipo más común de enfriamiento. Funciona transfiriendo calor del objeto a ser enfriado al aire circundante. Esto se puede hacer por convección natural, convección forzada o evaporación. En la convección natural (B.1.1) el aire caliente se eleva y el aire frío cae, creando una corriente de convección que transfiere calor del objeto al aire. En la convección forzada (B.2.1) se utiliza un ventilador u otro dispositivo para aumentar la velocidad del aire que fluye sobre el objeto, lo que aumenta la tasa de transferencia de calor.

Existen otros tipos de enfriamiento (C), como es el enfriamiento por termoelectricidad se basa en el efecto Peltier. El efecto Peltier es un fenómeno que crea una diferencia de temperatura entre dos materiales cuando se aplica una corriente eléctrica a través de ellos. El enfriamiento por termoelectricidad es un método de enfriamiento de estado sólido que no requiere refrigerantes ni gases licuados. Además del enfriamiento por láser se basa en la absorción de energía láser por un material. La energía láser se convierte en calor, que luego se transfiere a un medio de enfriamiento. El enfriamiento por láser es un método de enfriamiento preciso y localizado que se puede utilizar para enfriar materiales a temperaturas muy bajas.

El enfriamiento por cambio de fase (D) es el tipo de enfriamiento más eficiente. Funciona transfiriendo calor del objeto a ser enfriado a un líquido que cambia de fase de líquido a gas. El calor latente de vaporización del líquido absorbe el calor del objeto. El enfriamiento por cambio de fase se usa a menudo en aplicaciones donde se requiere una temperatura muy baja, como en la criogenia.

3. CASO DE ESTUDIO

El clima tropical húmedo de la República Dominicana, con sus altas temperatura y altos niveles de humedad durante todo el año (Felix, Del Portillo, & Izquierdo, 2018), presenta un escenario idóneo para el estudio de la viabilidad y el enfoque hacia la eficiencia de la generación de energía eléctrica mediante paneles solares. Desde el centro de investigaciones científicas de la Universidad Central del Este (UCE) se presenta el análisis llevado a cabo con relación al rendimiento de los paneles solares en condiciones de alta humedad y temperatura del aire (Peña Suárez, Del Campo Díaz, Del Portillo Valdés, & Félix Benitez, 2017). Este caso de estudio podría explorar cómo la humedad afecta la absorción de la luz solar y la conversión de esta en energía eléctrica, así como las estrategias de mantenimiento óptimo para prevenir la degradación de los componentes del panel debido a la humedad.

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

En este estudio se presenta la evaluación del rendimiento de un panel solar de maca Phono Solar PS315P-24/T (315W) en el clima tropical húmedo de la República Dominicana, específicamente en la Universidad Central del Este (UCE) en la provincia de San Pedro de Macorís. Este clima se caracteriza por elevadas temperaturas, alcanzando temperaturas significativas de 24°C como mínimo y 32°C de máxima y una humedad relativa del aire significativa de 40% de mínimo y 100% de máximo (Felix Benitez, Del Portillo Valdés, Del Campo Díz, & Martin Escudero, 2020), con lluvias frecuentes en los periodos comprendidos de mayo a octubre. Estas condiciones climáticas presentan desafíos únicos para la eficiencia de los paneles solares, como la reducción del rendimiento debido al calor y la acumulación de sales debido a la humedad.

En este estudio se presentan los resultados simulados de como la alta humedad y las precipitaciones afectan la absorción de luz solar y con ello la generación de energía eléctrica de los PSV. Además, del impacto de la temperatura ambiente con respecto a la eficiencia de conversión de energía de los módulos fotovoltaicos. Los paneles Phono Solar PS315P-24/T tienen una eficiencia de módulo de 16.23% y un coeficiente de temperatura de -0.4%/K, lo que indica cómo varía el rendimiento con la temperatura.

Se toma en consideración las horas de sol promedio en la provincia de San Pedro de Macorís, factor crítico para la producción de energía solar. El promedio ponderado para esta provincia se sitúa en las 2,675 horas anuales de sol.

Se evaluarían y se muestran las medidas de mantenimiento necesarias para optimizar el rendimiento de los paneles en este entorno tropical, como la limpieza regular para evitar la acumulación de suciedad y residuos que puedan bloquear la luz solar. También se estudiaría la resistencia de los paneles a la corrosión y otros efectos del clima húmedo.

Finalmente, el estudio proporcionaría recomendaciones sobre la implementación y el diseño óptimo del sistema solar para maximizar la captación de energía en la UCE, considerando tanto las condiciones climáticas locales como las características técnicas de los paneles Phono Solar PS315P-24/T.

Tabla 1: Características eléctricas DC del panel FV

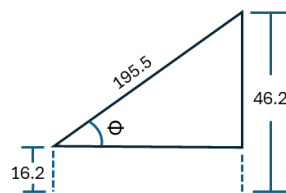
Características eléctricas DC	
Potencia nominal STC	315W
Potencia nominal PTC	285.1W-1
Potencia por unidad de area STC	15.1W/ft2 (162.3W/m2)
Máxima Eficiencia	16.23%
Tolerancias de potencia	data no disponible
Número de celdas	72
Voltaje nominal	no aplicable
Imp	8.56A
Vmp	36.8V
ISC	8.88A
Voc	46.2V
NOCT	45°C
Temperatura. Coeficiente de ISC	0.07%/K
Temperatura. Coeficiente de Potencia	-0.4%/K
Temperatura. Coeficiente de voltaje	-143V/K
Clasificación del fusible en serie	15A
Voltaje máximo del sistema	600V

Tabla 2: Características mecánicas del panel solar FV

Características Mecánicas	
Tipo	Silicon Policristalino
Tipo del terminal de salida	Conector multicontacto tipo 4
Calibre del cable de salida	12 AWG
Tipo de cable de salida	Cable Fotovoltaico
Longitud del cable de salida	43.3 pulg. (1,100mm)
Color del marco	Blanco
Color de la hoja posterior	Información no disponible
Longitud	77pulg. (1,956mm)
Ancho	39.1pulg. (992mm)
Profundidad	1.8 pulg. (45mm)
Peso	52.9lb (24kg)
Método de instalación	Montado en bastidor

Para tener un número aproximado del rendimiento de los paneles solares, se hace necesario obtener el valor exacto de la inclinación de estos. En la figura 2, se muestra esquemáticamente los valores obtenidos en campo para poder calcular la inclinación.

Figura 2: Valores para el cálculo de inclinación del panel solar FV



$$\text{Sen } \theta = \frac{46.2 - 15.2}{195.5}$$

$$\theta = \arcsen (0.15056) = 9.1^\circ$$

(1)

Cálculo y comparación de eficiencia del panel

La eficiencia de referencia declarada por el fabricante de la placa solar es de 16.23%. Se plantea el proceso matemático de cálculo con los datos proporcionados por el fabricante para luego comparar con los datos monitorizados in situ.

$$Ef = \frac{I_{sc}V_{oc}FF}{\frac{1000W}{m^2} * A} \quad (2)$$

$$FF = \frac{I_{mpp}V_{mpp}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{8.56A * 36.8V}{8.88A * 46.2V} = 0.768 \quad (3)$$

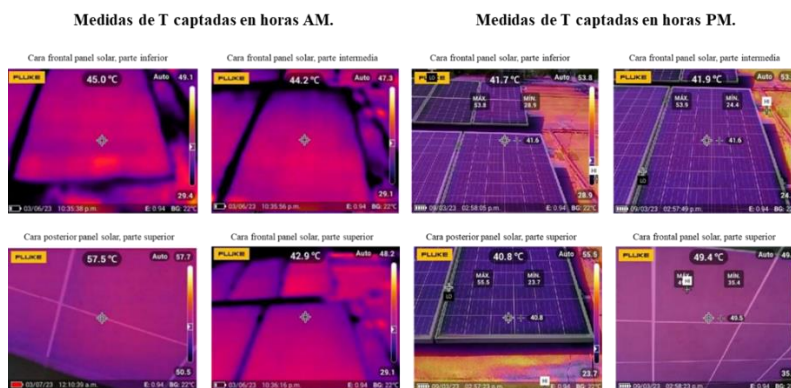
$$Ef = \frac{8.88A * 46.2V * 0.768}{\frac{1000W}{m^2} * (1.956m * 0.992m)} = 0.1623 = 16.23\% \quad (4)$$

Para realizar una comparación sobre el comportamiento de la eficiencia del panel en un día tipo, se realiza una monitorización de datos utilizando una cámara termográfica de marca fluke, modelo TiS75+.

En varias caras del panel se toman los registros horarios de temperatura y con ello se realizan los Cálculos de eficiencia a partir de datos recolectados.

En la figura 3 se muestra el proceso de toma de medidas de la temperatura en un día tipo, captando las medidas de la temperatura en varios puntos de un panel seleccionado para el estudio y luego aplicando estas en la fórmula para determinar la eficiencia energética del panel FV.

Figura 3: Muestra de captación de datos de la temperatura de la superficie del panel FV en un día tipo del caso de estudio



Con esta recopilación de datos se realizan los cálculos de eficiencia energética del comportamiento del panel FV en un día tipo, resultados que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Resumen de datos monitorizados y eficiencia energética calculada

Númer o de medida	T. superior, parte inferior (°C)	T. superior, parte central (°C)	T. Superior cara superior, (°C)	(Voc)	(Isc)	Potenci a STC	Eficiencia
1	45.0	44.2	42.9	42.6	8.5	278	14%
2	40.8	41.6	41.6	42.6	5.8	190	10%
3	46.8	44.7	43.9	41.2	9.0	285	15%

4	29.7	29.0	28.6	38.8	7.4	221	11%
5	46.8	44.7	43.9	42.0	6.9	223	11%
6	37.5	36.6	34.0	41.6	3.9	125	6%

Los resultados de la tabla 3, muestran que las temperaturas medidas en la parte superior, central e inferior del dispositivo varían ligeramente entre sí, pero el voltaje en circuito abierto (Voc) se mantiene constante alrededor de 42v. Esto muestra que el panel mantiene un voltaje estable a pesar de las variaciones de temperatura.

La potencia y la eficiencia varían entre las mediciones, una medida muestra una eficiencia del 14% con una potencia de 278, mientras que otra muestra una eficiencia del 10% con una potencia de 190. Esto indica que la eficiencia del dispositivo puede disminuir a medida que la temperatura aumenta o disminuye fuera de un rango óptimo.

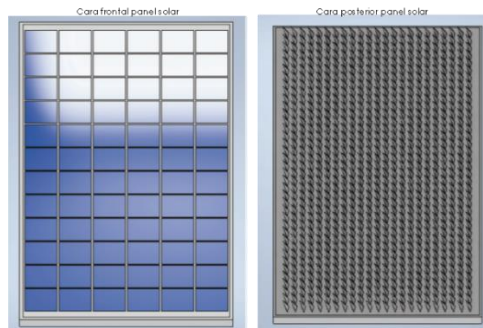
5. ENSAYO DE ENFRIAMIENTO DEL CASO DE ESTUDIO

Los paneles solares fotovoltaicos convierten la radiación solar en electricidad, pero también generan calor debido a las pérdidas por resistencia eléctrica y reflexión de la luz. Este calor reduce la eficiencia de los paneles y puede provocar su degradación acelerada. Por tanto, es importante mantener una temperatura óptima de funcionamiento de los paneles, que se sitúa entre 25°C y 35°C.

Una forma de mejorar el enfriamiento de los paneles solares es mediante la instalación de álabes fijos en la parte posterior de los mismos. Los álabes son unas piezas metálicas que sobresalen de la superficie del panel y que actúan como aletas de disipación térmica. Los álabes aumentan el área de contacto entre el panel y el aire, favoreciendo la transferencia de calor por convección natural. Además de, una de las ventajas de esta estrategia pasiva es crear un efecto de chimenea que genera una corriente ascendente de aire caliente que se aleja del panel, mejorando la ventilación y el enfriamiento de este.

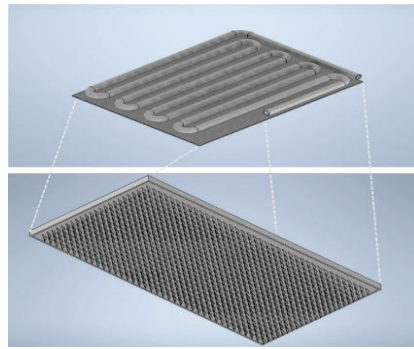
El prototipo propuesto se simula en un panel con enfriamiento a base de convección por alabes fijos. En la figura 4 se muestra la representación en Autodesk Inventor de la parte inferior de la placa FV, donde se muestra la instalación simulada en Autodesk Inventor de los alabes fijos, modo de refrigeración activa propuesto.

Figura 4: Ilustración del panel solar con la mejora de álabes fijos en la parte posterior



En la figura 5, se muestra una vista de la placa colocada luego de los alabes y adjunto a ella, la colocación un intercambiador de calor utilizando agua como método de trabajo con circulación forzada para acelerar la disipación del calor por convección, estrategia activa.

Figura 5: Muestra de la colocación de intercambiador de calor para circulación de agua de manera forzada.



La circulación de agua se realiza mediante la utilización de una bomba eléctrica con una potencia de $\frac{1}{2}$ Hp, la disipación del calor que circula en el circuito del agua es disipado por el ambiente mediante un sistema de enfriamiento con torre de refrigeración intercambiando con el ambiente.

6. RESULTADOS

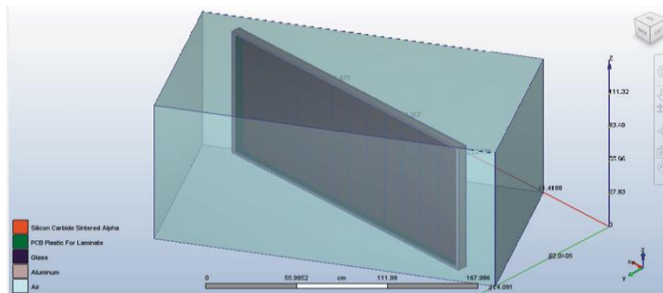
Los resultados simulados del diseño propuesto demuestran la efectividad de las estrategias seleccionadas para este estudio. Los parámetros de simulación se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4: Parámetros introducidos en el sistema Autodesk para la simulación
Condiciones de la simulación en Autodesk CFD**

Temperatura ambiente	30°C
Calor de la parte superior del panel solar	47.8°C
Calor de la cara inferior del panel solar	55.6°C
Velocidad del aire	1.7 m/s
Inclinación del panel solar con respecto al suelo	30°

Para realizar la simulación del panel solar antes y después para validar el comportamiento, se configuraron los elementos de construcción del panel FV. Se asignó una tasa de aire confinado para validar la interacción con los alabes y su reacción con la temperatura.

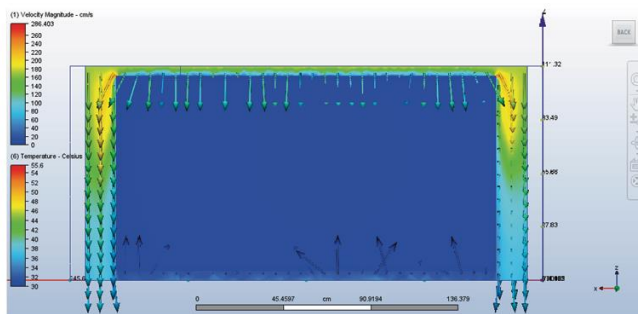
Figura 6: Muestra de la construcción del panel solar FV en Autodesk CFD



En la figura 6 se muestra la simulación de la parte frontal del panel, sometido a temperatura de 47.8°C, y un flujo de aire constante a 1.7 m/s. se puede observar que el calor es disipado a través de los álabes.

Figura 7: Simulación del panel FV en Autodesk sometido bajo una tasa de aire y flujo de calor constante

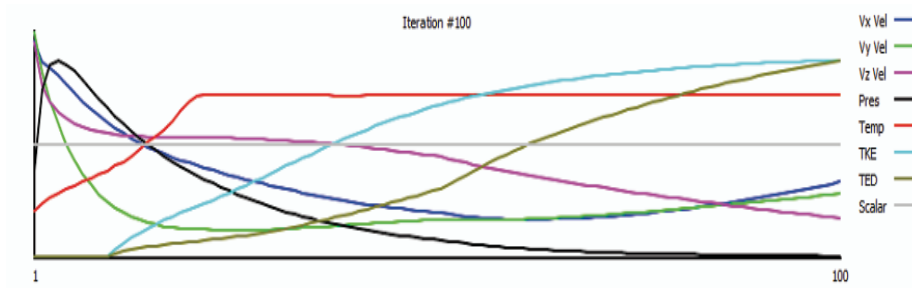
Imagen del panel solar (velocidad del aire)



Los vectores que se muestran en la figura 7 representan la dirección y la velocidad del viento. Se verifica una degradación de la temperatura desde unos 47.8°C registrados en la parte inicial del panel, hasta menos de 25°C a razón de la disipación del calor por convección.

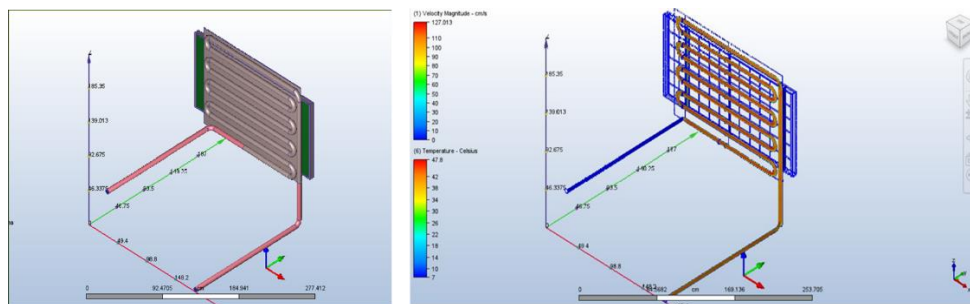
Aplicando un proceso de interacciones - repeticiones durante la simulación con esta estrategia, en el grafico 1 se verifica como la temperatura a partir de la interacción 20, decae y se mantiene constante en toda la operación del panel, lo que contribuye a el panel trabaje con una mayor capacidad en su eficiencia a consecuencias de la disipación del calor.

Gráfico 1: Interacciones - repeticiones del proceso de simulación en Autodesk CFD



Para la simulación de la estrategia activa, se construyo un modelo en Autodesk CFD del intercambiador de calor, agua-aire por circulación forzada. El mismo fue sometido bajo las mismas condiciones iniciales presentadas en la tabla 4. En la figura 8 se muestra el esquema simulado del panel con el intercambiador.

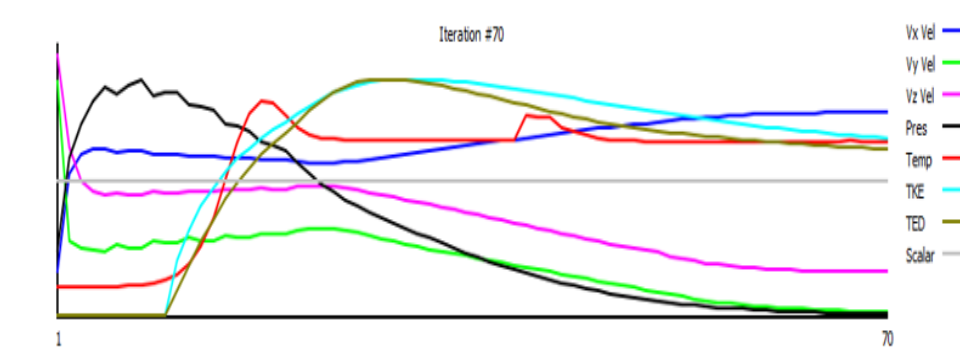
Figura 8: Muestra de la colocación del intercambiador de calor debajo del panel y los alabes fijos propuestos de la estrategia pasiva.



En la figura 8 se demuestra la efectividad de la estrategia utilizada, donde el agua en la entrada registra una temperatura de unos 18°C y a la salida del intercambiador se registran unos 42°C.

Realizando un proceso de interacciones - repeticiones durante la simulación, se verifica en el gráfico 2 como la temperatura a partir de la interacción 50, decae a niveles casi nulo, lo que hace que el panel trabaje a su mayor eficiencia para la generación de energía.

Gráfico 2: Interacciones en el proceso de simulación en Autodesk CFD



Tomando en cuenta las especificaciones del fabricante, si el panel estuviera al 16.23% de eficiencia optima, generaría a su mayor potencia de 300W, tomando en cuenta esto sin las estrategias mostradas, este valor se vería reducido en 220W, aproximadamente un 26.66% menos de su capacidad nominal.

7. CONCLUSIONES

Tomando en consideración que se pierden 0.4% de la energía generada por cada °C por encima del estándar recomendado por el fabricante, con estos dos métodos presentados y simulados, se demuestra que se puede conseguir la mayor eficiencia que pueden entregar un circuito de paneles FV y así conseguir la mayor cantidad de energía eléctrica generada y aprovechable del sistema.

Las repeticiones cíclicas del sistema despejan dudas del funcionamiento de las estrategias simuladas, dando como aporte a la comunidad científica los parámetros para reducir la incertidumbre a la hora de monitorizar estas estrategias en un panel FV.

En este estudio se demostró que, al reducir el sobrecalentamiento de los paneles FV con la introducción de estrategias de refrigeración tanto activas, como pasivas, permiten

un funcionamiento más eficiente de las celdas solares, mejorando así la conversión de la radiación solar en electricidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Widodo Besar Riyadi, T., Effendy, M., Radiant Utomo, B., & Tri Wijayanta, A. (2023). Performance of a photovoltaic-thermoelectric generator panel in combination with various solar tracking systems. *Applied Thermal Engineering*, 235, 121336. doi:10.1016/j.applthermaleng.2023.121336
- Afzal, A., Buradi, A., Jilte, R., Shaik, S., Kaladgi, A. R., Arıcı, M., et al. (2023). Optimizing the thermal performance of solar energy devices using meta-heuristic algorithms: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 112903. doi:10.1016/j.rser.2022.112903
- Fernández-González, D., Ruiz-Bustanza, I., González-Gasca, C., Piñuela Noval, J., Mochón-Castaños, J., Sancho-Gorostiaga, J., et al. (2018). Concentrated solar energy applications in materials science and metallurgy. *Solar Energy*, 170, 520-540. doi:10.1016/j.solener.2018.05.065
- Capacho, D. A. V., Colmenares, A. M. B., & Espinosa, E. C. D. Algoritmos para el seguimiento del punto de máxima potencia "MPPT". estado del arte.
- Oyola, J. S., & Gordillo, G. (2007). Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica. *Prospectiva*, 5(2), 11-15.
- Vargas Cortes, A. (2024). Prototipo de disipación de calor en paneles fotovoltaicos para análisis de eficiencia de conversión de energía.
- Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET.Revista Electrónica De Veterinaria*, 17(9), 1-4.
- Montesino Torres, O. E., & Mejía Mieles, R. Uso de paneles solares como energía renovable para el abastecimiento de energía eléctrica.
- Preciado Garcés, A. M. (2017). No title. *Diseño Y Cálculo De Estructura Soporte Para Paneles Solares*,
- Aparicio, M. P. (2020). *Energía solar fotovoltaica: 3a edición* Marcombo.
- Linares Rojo, F. D. (2022). Efecto de la temperatura en paneles solares fotovoltaicos y tecnologías de refrigeración para el mejoramiento de la eficiencia—Una revisión.
- Salehi, R., Jahanbakhshi, A., Reza Golzarian, M., & Khojastehpour, M. (2021). Evaluation of solar panel cooling systems using anodized heat sink equipped with thermoelectric module through the parameters of temperature, power and efficiency. *Energy Conversion and Management*: X, 11, 100102. doi:10.1016/j.ecmx.2021.100102
- Sahay, A., Sethi, V. K., Tiwari, A. C., & Pandey, M. (2015b). A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 306-312. doi:10.1016/j.rser.2014.10.009
- Marcelo, R. G. (2009). No title. *Modelado Y Propuestas Para El Control De Un Lazo De Colectores Cilindro Parabólicos.*,
- Felix, J., Del Portillo, L., & Izquierdo, R. (2018). Análisis comparativo de las diferentes zonas climáticas de la república dominicana. Paper presented at the Proceedings of the 1st Iberic Conference on Theoretical and Experimental Mechanics and Materials/11th National Congress on Experimental Mechanics, Porto, Portugal, pp. 4-7.

Peña Suárez, J. N., Del Campo Díaz, V. J., Del Portillo Valdés, L. A., & Félix Benitez, J. M. (2017). Caracterización climática de la república dominicana: Limitación de la demanda energética en la edificación. Paper presented at the Congreso Ibero-Americano De Engenharia Mecânica (CIBEM): Lisbon, Portugal,

Felix Benitez, J. M., Del Portillo Valdés, L. A., Del Campo Díz, V. J., & Martin Escudero, K. (2020). Simulation and thermo-energy analysis of building types in the dominican republic to evaluate and introduce energy efficiency in the envelope. *Energies*, 13(14) doi:<https://doi.org/10.3390/en13143731>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo
Sostenible**

