



**Donde la energía del sol y la tierra se unen para construir
un futuro sostenible y en armonía con el ambiente.**



Información Legal

Geovoltaica Revista de Energía y Sostenibilidad, Año 1, Número 1. Enero-Abril 2025, es una publicación cuatrimestral, editada por el Dr. Néstor Daniel Galán Hernández, Coto 12 Número 4902, Real del Valle, 82124 Mazatlán, Sinaloa, México, <https://www.revistageovoltaica.com> E-mail: editor@revistageovoltaica.com. Editores responsables: Dr. Eber Enrique Orozco Guillén, Dr. Guillermo Rubio Astorga y Dr. Erik Vázquez Fernández. Reserva de derechos al uso exclusivo En trámite, ISSN: En trámite. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dr. Néstor Galán. Real del Valle, Coto 12, Núm 4902. Código Postal 82124. Fecha de última Actualización 07 de Marzo de 2025. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.



GEOVOLTAICA

Revista de Energía y Sostenibilidad



revistageovoltaica.com

Editorial

Innovar, colaborar y transformar: Nuestro rol en la construcción de un futuro sostenible"

En el escenario actual, donde los desafíos energéticos y ambientales demandan soluciones innovadoras y sostenibles, nace Geovoltaica, una publicación dedicada a explorar y analizar las intersecciones entre energía, sostenibilidad y desarrollo tecnológico. Este primer número marca el inicio de un espacio de diálogo y reflexión sobre temas de importancia para el sector académico, profesional y público en general. La crisis climática ha dejado de ser una advertencia para convertirse en una realidad que exige acciones inmediatas y efectivas. El incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero, junto con el agotamiento de recursos naturales, nos urge a repensar nuestros modelos de producción y consumo energético. En este contexto, las energías renovables son alternativas viables para la supervivencia y el desarrollo sostenible.

Geovoltaica se propone como una plataforma para explorar investigaciones e innovaciones en tecnologías limpias, desde los avances en energía solar fotovoltaica y eólica hasta las prometedoras aplicaciones del hidrógeno verde. Nuestro compromiso es presentar investigaciones rigurosas, análisis técnicos y casos de estudio que demuestren la viabilidad y eficiencia de estas soluciones. La calidad y eficiencia energética ocupan un lugar central en nuestra agenda editorial. Entendemos que la transición hacia un futuro sostenible requiere no solo de nuevas fuentes de energía, sino también de una gestión más inteligente y eficiente de los recursos existentes. Las Smart Grids, el almacenamiento energético y las tecnologías de gestión de la demanda son temas que requieren análisis en profundidad.

El cambio climático, como fenómeno global, exige respuestas coordinadas y multidisciplinarias. Por ello, nuestras páginas darán cabida a voces expertas de diversos campos: ingeniería, ciencias ambientales, economía y política energética. Esta aproximación holística nos permitirá abordar la complejidad de los retos actuales desde múltiples perspectivas. Geovoltaica nace con la convicción de que el conocimiento y la difusión de información técnica especializada son fundamentales para impulsar la transición energética. Invitamos a investigadores, profesionales y expertos del sector a contribuir con sus conocimientos y experiencias en los próximos números.

En este primer número, presentamos una selección de artículos que abordan desde innovaciones en tecnología fotovoltaica para alumbrado público, hasta estrategias de control y eficiencia energética en entornos rurales con mecanismos de automatización. Cada texto ha sido cuidadosamente seleccionado y se ha adoptado el sistema de arbitraje doble ciego para ofrecer información relevante y actualizada, manteniendo el rigor técnico que caracterizará a nuestra publicación.

En un mundo donde la sostenibilidad energética se ha convertido en un imperativo global, Geovoltaica se compromete a ser un referente en la difusión de conocimiento técnico y científico sobre energías limpias y desarrollo sostenible. A quienes investigan, desarrollan y cuestionan los paradigmas actuales: esta es su plataforma. Porque cada hallazgo, cada modelo y cada solución aplicada nos acercan a un mundo más eficiente, resiliente y equitativo.

Esperamos que este primer número sea el inicio de un diálogo productivo y constructivo sobre el futuro energético.

Dr. Néstor Daniel Galán Hernández

Editor en jefe

Geovoltaica

Revista de Energía y Sostenibilidad

Comité Editorial

- **Dr. Néstor Daniel Galán Hernández**
Universidad Politécnica de Sinaloa, México.
- **Dr. Eber Enrique Orozco Guillén**
Universidad Politécnica de Sinaloa, México.
- **Dr. Guillermo Rubio Astorga**
Tecnológico Nacional de México, México
- **Dr. Erik Eduardo Vázquez Fernández**
Universidad De Colima, México

Comité Científico

- **Dr. Javier Bernardo Cabrera Mejia**
Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.
- **Dr. Mario Luna Risco**
Universidad de Medellín. Colombia
- **Dra. Nildia Yamileth Mejias Brizuela**
Universidad Politécnica de Sinaloa, México.
- **Dra. Dulce Ambriz Pérez**
Universidad Nacional Autónoma de México.
- **Dr. David Ulises Santos Ballardo**
Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo, México.
- **Dr. José Adán Hernández Nolasco**
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.
- **Dr. Jorge Alberto Pérez Mendoza**
Instituto Politécnico Nacional, México.
- **Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano**
Universidad del Santa, Perú
- **Dr. José Gregorio Marcano**
Universidad de Carabobo, Venezuela.

- **Gestión de Medios**
Ing. Jean Carlos Velarde Meza

- **Dirección de asuntos legales.**
Roberto Nila Higuera

CONTENIDO

- 7** **Diseño de control y monitoreo para sistema de riego en invernadero escala piloto.**

- 12** **Viabilidad sostenible de sistemas de alumbrado público y videovigilancia alimentados con energía solar fotovoltaica en las Islas Galápagos.**

- 21** **Transición Energética para un Mundo más Sostenible: Análisis de Percepciones y Desafíos Actuales.**

- 31** **Desarrollo de un Sistema de Gestión Térmica para Paneles Solares en una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos.**

- 42** **Modelado e implementación de sistema mecánico masa-resorte-amortiguador: Una revisión.**

- 51** **Algoritmo de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia para un Convertidor Elevador de un Sistema Fotovoltaico vía Control Predictivo basado en Modelos.**

Desarrollo de un Sistema de Gestión Térmica para Paneles Solares en una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos

Development of a Thermal Management System for Solar Panels in a Charging Station for Electric Vehicles

Diego M. Almazo Pérez¹, Delfino Cornejo Monroy¹, Luis E. Argueta Ramírez¹, Carlos A. Gómez Álvarez¹, Roberto Romero López¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. diego.almazo@uacj.mx

Resumen

La eficiencia de las celdas solares se ve afectada por el incremento de su temperatura durante la operación, especialmente en zonas de climas cálidos como Ciudad Juárez, Chihuahua. Este fenómeno disminuye el rendimiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión térmica para optimizar su desempeño. Este trabajo propone un sistema de refrigeración basado en disipadores de calor rectangulares para celdas solares, diseñado específicamente para reducir las temperaturas en zonas críticas de los módulos fotovoltaicos. Los objetivos principales incluyen evaluar el rendimiento eléctrico derivado de la disipación térmica, crear un registro detallado de temperaturas en el sistema fotovoltaico y su entorno climático, y proponer una solución sostenible y replicable que permita mejorar la eficiencia energética de las celdas. Para ello, se llevaron a cabo cálculos teóricos sobre la transferencia de calor en disipadores, simulaciones en Abaqus CAE para analizar los contornos térmicos, y experimentos prácticos con mediciones de temperatura, voltaje y corriente. Los resultados confirmaron que el uso de disipadores permite reducir la temperatura de las celdas solares hasta 10.97 °C, lo que incrementa su voltaje en 0.24 V por celda y mejora la eficiencia en un 10.025 % en comparación con celdas sin disipador. Este estudio demuestra que el uso de disipadores de calor es una estrategia efectiva para aumentar el rendimiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos en entornos cálidos, ofreciendo una solución práctica para maximizar la generación de energía solar en estas condiciones.

Palabras clave: Vehículos eléctricos, Estación de Carga, Sistema Fotovoltaico, Sistema de gestión térmica. Thermal management system.

Abstract

The efficiency of solar cells is affected by the increase in their temperature during the operation, especially in areas of warm climates such as Ciudad Juárez, Chihuahua. This phenomenon decreases the electrical performance of photovoltaic systems, which highlights the need to implement thermal management strategies to optimize their performance. This work proposes a cooling system based on rectangular heat sinks for solar cells, specifically designed to reduce temperatures in critical areas of photovoltaic modules. The main objectives include evaluating the electrical performance derived from thermal dissipation, creating a detailed record of temperatures in the photovoltaic system and its climatic environment, and proposing a sustainable and replicable solution. That allows to improve the energy efficiency of the cells. For this, theoretical calculations were carried out on heat transfer in heat sinks, simulations in Abaqus CAE to analyze thermal contours, and practical experiments with temperature, voltage and current measurements. The results confirmed that the use of heatsinks allows the temperature of solar cells to reduce to 10.97 °C, which increases their voltage by 0.24 V per cell and improves efficiency by 10.025% compared to cells without a heatsink. This study shows that the use of heat sinks is an effective strategy to increase the electrical performance of photovoltaic systems in warm environments, offering a practical solution to maximize solar energy generation in these conditions.

Keywords: Electric Vehicles, EV Charger, Photovoltaic systems.

Recibido: 02/12/2024; Aceptado 14/02/2025; Publicado 17/03/2025

Introducción

Desde la revolución industrial, el aprovechamiento de la energía ha sido fundamental para el desarrollo y crecimiento de la sociedad. Se han desarrollado distintas formas para aprovechar las características de distintas fuentes energéticas tomando en cuenta factores como cantidad de energía extraída y precio de esta. Estos avances han contribuido al crecimiento y desarrollo de la sociedad humana, pero también han traído consecuencias al medio ambiente. Es por ello por lo que se ha trabajado en desarrollar tecnologías que permitan aprovechar la energía de la naturaleza y al mismo tiempo contribuir a la conservación del ambiente. Una de las principales maneras de extraer energía del ambiente es por medio de la quema de combustibles fósiles y carbón. Esta forma ofrece grandes ventajas por el alto contenido energético de los combustibles, pero también es una de las formas que más daña al medio ambiente por medio de las emisiones de gases de

efecto invernadero. La acción ante estas consecuencias ha sido la implementación del aprovechamiento de las energías renovables, por medio de turbinas eólicas, placas solares, plantas hidroeléctricas y nuevos sistemas que han ido desarrollándose con la finalidad de aprovechar nuevas maneras de obtener energía de una forma continua y viable sin contaminar el ambiente [1].

Las tecnologías con base en energías renovables se han implementado de manera exitosa de muchas formas, un reto que se presenta en la sociedad moderna es implementar estas tecnologías a la movilidad, ya que la mayoría de las formas en las que el ser humano se desplaza es altamente dependiente de los combustibles fósiles. Siendo esto un problema para el objetivo de no contribuir al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente se ha impulsado arduamente el uso de vehículos eléctricos como lo son los automóviles, motocicletas, patines, e incluso trenes. La gran disyuntiva se presenta cuando las fuentes de energía para alimentar a

estos vehículos eléctricos siguen siendo por medio de la quema de combustibles fósiles, emitiendo la misma o mayor cantidad de gases nocivos al ambiente. Es por ello por lo que es importante trabajar en integrar las formas de extracción de energía renovable del ambiente a la movilidad diaria de los humanos [2]

Se propone investigar técnicas de refrigeración activa o pasiva, sistema de circulación de aire, y materiales de revestimiento para para controlar la temperatura y evitar el sobrecalentamiento. Se llevará a cabo un análisis de zona en Ciudad Juárez Chihuahua, México donde se pretende obtener datos de las temperaturas y las velocidades de los vientos en sus condiciones máximas, de esta forma se busca proponer un sistema de enfriamiento pasivo o activo adecuado para la estación de carga fotovoltaica. Se cree que, al integrar sistema de control de temperatura en los paneles solares, se tendrá un aumento de eficiencia, se alargará la vida útil de los paneles y se obtendrán valores de voltaje y corrientes más estables.

El proyecto aportaría información de alta relevancia para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías de movilidad eléctrica urbana y contribuiría a la acelerada transición de fuentes de energía en el rubro vehicular.

El objetivo del proyecto es conocer el comportamiento del sistema fotovoltaico (SF) en condiciones climáticas de Ciudad Juárez y como objetivos secundarios se pretende proponer un sistema de enfriamiento para las celdas solares, también se pretende recopilar información del sistema.

Fundamentación Teórica

La convección es un mecanismo de transferencia de calor en el cual se involucra un fluido. Puede ser sólido-fluido o fluido-fluido. El fluido puede estar en movimiento o estático, dependiendo de la aplicación y el contexto en el que se aplique. Se puede presentar de dos principales maneras: como convección natural (convección libre) y convección forzada [3].

La convección natural o libre se da por medios, como establece su nombre, naturales. Por otra parte, la convección forzada se da por medios que direccionan el fluido por medios externos que adicionan energía al sistema [4]

Asimismo, se establece la relación entre la transferencia de calor por convección con la ley de Newton como indica la ecuación (1):

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) , [W] \quad (1)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 A_s = área superficial de transferencia de calor, m^2
 T_s = temperatura de la superficie, $^\circ C$
 T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^\circ C$

El coeficiente de transferencia de calor por convección determina la capacidad de un fluido de conducir calor con un medio sólido y viceversa.

La conducción de calor se da de la siguiente forma en la ecuación (2):

$$\dot{q}_{conv} = -k_{fluido} \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (2)$$

En este caso, T es la temperatura en el fluido, y la expresión $\frac{\partial T}{\partial y}$ ilustra el gradiente de temperatura formado por la condición de no-deslizamiento. Con todo esto podemos crear la relación para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección de la siguiente manera en la ecuación (3):

$$h = \frac{-k_{fluido} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}}{T_s - T_\infty}, [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (3)$$

El número de Nusselt es un número adimensional que define una relación entre la tasa de transferencia de calor por conducción y por convección en una capa límite térmica. Se expresa de la siguiente forma matemática en la ecuación (4):

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (4)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección
 L_c = longitud característica del sistema
 k = conductividad térmica del fluido

La ecuación de Dittus-Boelter es una correlación que combina tres coeficientes presentes en los fluidos a la hora de estar en movimiento. Toma en cuenta el número de Reynolds presente y el número de Prandtl y se expresa en la ecuación (5) para enfriamiento [5]:

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \quad (5)$$

Donde:

Re = número de Reynolds
 Pr = número de Prandtl

En 1884, Boltzmann demuestra teóricamente los trabajos experimentales de Stephan, teniendo así la ecuación de poder de emisión de cuerpo negro, que determina la capacidad de emisividad en condiciones máximas e ideales de un cuerpo, se expresa en la ecuación (6):

$$E_b(T) = \sigma T^4, [W/m^2] \quad (6)$$

Donde:

$\sigma = 5.670 \times 10^{-8}$, representa la constante de Boltzmann, con unidades de $W/m^2 \cdot K^4$.
 T es la temperatura absoluta en grados Kelvin.

Es el proceso mediante el cual se transfiere energía entre dos medios sólidos o estáticos. Apoyándose de la ley de Fourier, se plantea que la fórmula de la tasa de transferencia de calor se expresa de la siguiente forma en la ecuación (7):

$$\dot{q}_{cond} = -kA_s \frac{dT}{dx}, [W] \quad (7)$$

Donde:

- \dot{q}_{cond} es la tasa de transferencia de calor por conducción.
- k es la conductividad térmica del material.
- A es el área en la cual ocurre el proceso de transferencia de calor.
- $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura en dirección a la transferencia de calor.

Las aletas son dispositivos que ocasionan un aumento de superficie entre la superficie y un fluido (generalmente aire). Esto permite que haya mayor transferencia de calor entre los dos medios, ocurre por conducción y convección.

El número de Grashof es una unidad adimensional que relaciona las fuerzas de flotación y viscosidad en un fluido. En la ecuación (8) se expresa de la siguiente forma:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (8)$$

Donde:

- g es la aceleración gravitacional.
- β es el coeficiente de expansión volumétrica.
- T_s es la temperatura en la superficie.
- T_∞ es la temperatura ambiental.
- L es la longitud característica de la superficie.
- ν es la viscosidad del fluido.

El número de Prandtl es una medida adimensional que relaciona la viscosidad del fluido con la difusividad térmica. Se utiliza para definir el flujo de calor en un evento de transferencia de calor, así como el comportamiento térmico del fluido [6].

El número de Prandtl se define en la ecuación (9):

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (9)$$

Siendo:

- ν , la viscosidad cinemática del fluido.
- α , la difusividad térmica.
- c_p , el calor específico a presión constante.
- μ , la viscosidad dinámica.
- k , la conductividad térmica del fluido.

Es importante conocer y utilizar el número de Prandtl ya que permite conocer la velocidad de difusión de calor y cambio de viscosidad en el fluido. En el aire, fluido con el que se trabajará, el número de Prandtl es cercano a 1 [7].

El número de Rayleigh relaciona la viscosidad y flotabilidad con la relación entre la difusividad de cantidad de movimiento y térmica. Es

un número importante para el estudio de la convección térmica, se expresa como indica la ecuación (10):

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (10)$$

Donde:

- g es la aceleración gravitacional.
- β es el coeficiente de expansión volumétrica.
- T_s es la temperatura en la superficie.
- T_∞ es la temperatura ambiental.
- L es la longitud característica de la superficie.
- ν es la viscosidad del fluido.
- α , la difusividad térmica.

Una superficie que cuenta con aletas para transferir calor al ambiente por convección se le conoce como “sumidero de calor”, figura 1. Los sumideros usualmente son de materiales como cobre o aluminio. Una desventaja de los sumideros pasivos es que, al depender del movimiento del aire, pueden llegar a calentarse y afectar en la confiabilidad del sistema [8].

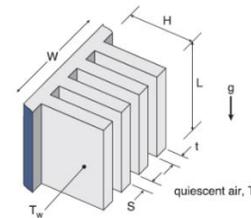


Figura 1. Dimensiones de diseño de una aleta.

El número de aletas y el espacio entre ellas puede variar dependiendo de las dimensiones de la placa en la que se colocan. Asimismo, hay dos principales formas de ajustar las variables desde el número de Rayleigh: por medio del espaciamiento (S) y por medio de la longitud de las aletas (L), en la ecuación (11) se expresan en función de sus parámetros [7]:

$$Ra_S = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)S^3}{\nu\alpha} Pr, Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} Pr \quad (11)$$

Respecto al espaciado de los sumideros de calor, se busca que haya el mejor coeficiente de transferencia de calor al mismo tiempo que la mayor área superficial. Es por ello por lo que por medio de experimentación se llegó a la fórmula de espaciado óptimo mostrada en la fórmula (12):

$$S_{opt} = 2.714 \left(\frac{S^3 L}{Ra_S} \right)^{0.25} \quad (12)$$

Tomando en cuenta que es a temperatura constante. En la figura 2.2 se ilustran los parámetros a considerar para la caracterización de aletas a partir de una placa. Con todo esto siendo considerado, la

transferencia de calor por mecanismo de convección natural en las aletas se constituye en la ecuación (13) [9]:

$$\dot{Q} = h(2nLH)(T_s - T_\infty) \quad (13)$$

Definiendo variables nuevas:

- n , es el número de aletas en el sumidero (definido por el ancho dividido entre la suma del espaciado entre aletas y ancho de aletas).
- H , es la altura de las aletas.
- L , es la longitud de las aletas.

Primero se necesita considerar el área transversal, la ecuación (14) la define como:

$$A_c = ancho \times grosor \quad (14)$$

En los arreglos para calcular el área de la base también se toma en cuenta la cantidad de aletas involucradas en el disipador, por lo que se multiplican por el número total de aletas. Posteriormente en la ecuación (15) se calcula el parámetro de la aleta m :

$$m = \sqrt{\frac{h \times P}{k \times A_c}} \quad (15)$$

Donde:

- m es el parámetro de la aleta.
- h es el coeficiente de transferencia de calor por convección del fluido.
- P es el perímetro de las aletas.
- k es la conductividad térmica del material.
- A_c es el área de sección transversal de las aletas.

Una vez conocido el parámetro de la aleta, se busca conocer la eficiencia de éstas, por ello también se muestra la ecuación (16):

$$\eta = \frac{\tanh(m \times L)}{m \times L} \quad (16)$$

Donde:

- η es la eficiencia de la aleta.
- m es el parámetro de la aleta.
- L es la longitud de la aleta.

Con esto conocido se puede obtener el calor disipado por las aletas por medio de la ecuación (17):

$$Q_{aleta} = \eta_{aleta} \times A_{aleta} \times (T_{base} - T_{ambiente}) \quad (17)$$

Donde:

- η_{aleta} es la eficiencia de la aleta.
- A_{aleta} es el área expuesta al aire de la aleta.
- T_{base} es la temperatura en la base de la aleta.
- $T_{ambiente}$ es la temperatura en el ambiente.

Para conocer la temperatura de la aleta a cierta distancia se toman en cuenta lo establecido anteriormente y se ajusta a la distancia requerida, de modo que en la ecuación (18) se obtiene:

$$T(x) = T_\infty + (T_{base} - T_\infty) \times \frac{\cosh(m(L-x))}{\cosh(mL)} \quad (18)$$

donde:

- $T(x)$ es la temperatura en el punto x a lo largo de la aleta.
- T_∞ es la temperatura del aire ambiente.
- T_{base} es la temperatura de la base de la aleta.
- L es la longitud de la aleta.
- m es el parámetro de la aleta.

Las tecnologías fotovoltaicas han sido una alternativa sustentable a los combustibles fósiles que se utilizan para la extracción de energía. La recolección de energía solar ocurre por medio de energía eléctrica obtenida directamente de celdas fotovoltaicas que absorben energía de luz solar.

Los paneles solares se componen de capas de celdas solares que cuando el sol interactúa con ellas, ocurre una reacción iónica que libera energía por medio de corriente eléctrica [10].

La energía eléctrica generada en sistemas de respaldo o autónomos se almacena en baterías, usualmente de iones de litio. Las configuraciones químicas principales son de litio-cobalto, litio-manganeso, NMC y litio-aluminio.

El modelo equivalente de una placa solar [11], toma en cuenta los efectos de la placa solar como fuente de corriente (proporcional a la irradiación solar), corriente asociada al diodo equivalente, voltaje térmico, coeficiente de idealidad, y el voltaje obtenido con pérdidas. Se considera la suma de todas las resistencias en serie, así como la suma de todas las resistencias en paralelo. Con esto tendríamos el circuito ilustrado en la figura 2.

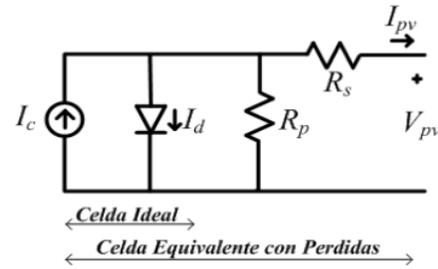


Figura 2. Circuito equivalente de una placa solar.

La ecuación (19) del circuito de un diodo es:

$$I_{pv} = I_c - I_o \left[e^{\left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_t \alpha} \right)} - 1 \right] - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (19)$$

Donde:

- I_{pv} representa la corriente de salida con pérdidas.
- I_c representa la corriente de la fuente.
- I_o representa la corriente inicial.
- R_s representa el equivalente a la suma de las resistencias en serie.
- R_p representa el equivalente a la suma de las resistencias en paralelo.
- V_t representa el voltaje térmico.
- α representa el coeficiente de idealidad.

La irradiancia solar se define como la tasa a la que la energía de radiación incide en una superficie por unidad de área [12]. Se utilizan dos principales herramientas para la medición de la irradiancia solar: el pirheliómetro y el piranómetro.

Los dos instrumentos previamente mencionados pueden ser conectados a un sistema de adquisición de datos (DAQ) para colección automática de datos y registro. La inclinación en la que se colocan los instrumentos para hacer las mediciones es de alta importancia para hacer mediciones correctas. En la figura 3 se muestran zonas de potencial fotovoltaico de México por medio de equipo de medición [13].



Figura 3. Atlas de recurso solar en México.

Con la información recaudada, se registró en enero 16 del 2024 la temperatura más baja promedio en Ciudad Juárez, siendo esta -6.1 °C. Por otra parte, la temperatura más alta registrada en 2024 para Ciudad Juárez fue el 13 de junio con 42.8 °C, promedio 18.5. En las figuras 4 y 5 se muestran los datos históricos de la ciudad [14].

En estas fechas, se registró un tiempo de luz solar aproximadamente 10 horas y media el 16 de enero, por otra parte, el 13 de junio se registraron 13 horas de luz natural, algo muy similar a las horas de luz natural durante el solsticio de verano [14].

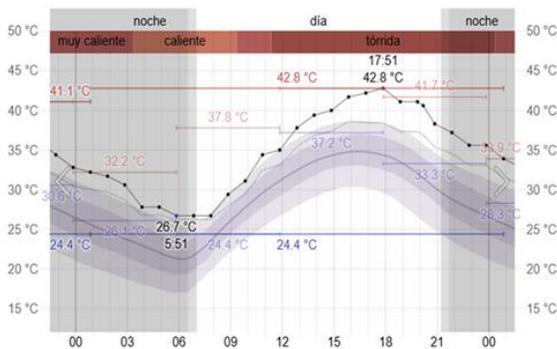


Figura 4. Temperatura el 16 de enero del 2024.

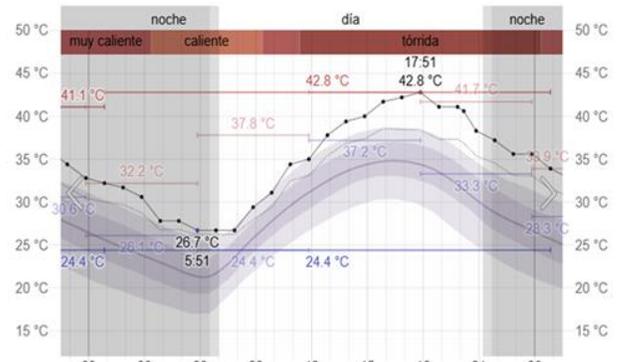


Figura 5. Temperatura el 13 de junio del 2024.

Se define a la eficiencia térmica de una placa solar como la relación entre la energía que proporciona el sol por medio de irradiancia, con la energía que entrega el sistema fotovoltaico [15]. Se expresa como porcentaje con la ecuación (20):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (20)$$

Donde:

η Representa la eficiencia energética de la placa.

P_{out} Es la potencia eléctrica proporcionada por la placa solar.

P_{in} Representa la potencia eléctrica proporcionada por el sol.

Para determinar el ángulo de inclinación de la instalación de una placa solar se necesita conocer la latitud de la zona en la que está siendo instalada y la estación del año en la que se encuentra. Ciudad Juárez se encuentra en una zona entre las latitudes 31° 07' N - 31° 48' N. Debido al ángulo de inclinación de la tierra y su efecto en las horas de sol y el acimut de este, en verano se recomienda reducir el ángulo de 10° a 25° y en invierno se recomienda aumentar el ángulo de 10° a 25° [16]. Por lo que se recomienda que las instalaciones de placas solares se coloquen en 32° en promedio en caso de ser estaciones estáticas. Para estaciones estáticas ajustables se recomienda un ángulo de 42° a 57° en verano y un ángulo de 22° a 7°.

Metodología

Se tiene la intención de seguir la siguiente metodología para llevar a cabo el proyecto: análisis de zona, cotizaciones y adquisición de material, diseño de la propuesta, construcción de sistema, medición y caracterización de variables, análisis de resultados, compilación de resultados y propuesta de mejora. En la figura 6 se ilustra el procedimiento a seguir.

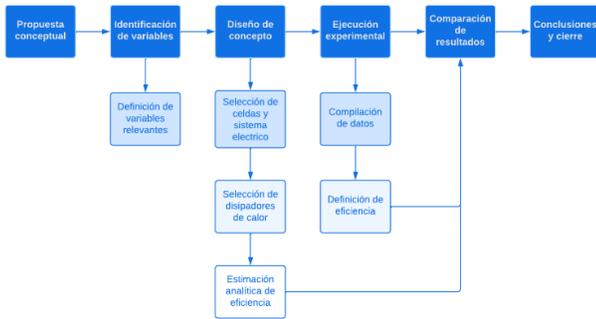


Figura 6. Diagrama de flujo del proyecto.

La propuesta conceptual se basa de la teoría para proponer un mecanismo de disipación de calor en los paneles solares. Posteriormente se identifican y clasifican las variables que importan para el proyecto a realizar, tales como radiación solar, ángulo de inclinación de las placas solares, voltaje de celdas, dimensiones, tipos y distribución de sumideros de calor.

Para el diseño del concepto se seleccionan los tipos de celda solar, la elaboración de la fixtura para mantener el ángulo óptimo en la estación solar, se seleccionan los disipadores de calor y se lleva a cabo una estimación analítica de la eficiencia. En la ejecución experimental se definen indicadores de resultados como eficiencia y estabilidad. En la fase de medición y caracterización de variables se tendrá el sistema funcionando y por medio de dispositivos de medición se obtendrán datos para ser registrados por medio de software adecuado al sistema y posteriormente analizados. Se hace compilación de resultados se hace revisión de las mediciones obtenidas y se registran en el documento.

Propuesta conceptual.

Para considerar un material se tomaron en cuenta dos factores: su conductividad térmica, su resistencia a la exposición al ambiente y su costo. Los principales candidatos fueron:

- Aluminio 6061-T4 ($k = 154 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).
 - Precio unitario: \$17.24 dlls (granel).
- Cobre trabajado en frío ($k = 385 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).
 - Precio unitario: \$35.51 dlls (granel).

Se contemplaron dos geometrías principales: disipadores con aletas cilíndricas y disipadores con aletas rectangulares.

Los disipadores de calor a seleccionar fueron dos modelos del mismo material y dimensión en la base. Los modelos fueron contemplados por dimensiones, costo, geometría y material.

El experimento se llevó a cabo en Ciudad Juárez en las coordenadas $31^{\circ}44'03.9''\text{N}$ $106^{\circ}25'41.6''\text{E}$. El experimento fue llevado a cabo entre los meses de agosto y septiembre del año 2024. Las temperaturas registradas en esas fechas fueron de 16.7°C a 36.7°C . Se presentaron

cielos despejados y 13 horas de luz solar aproximadamente, así como precipitación nula e irradiación solar promedio de $2,811.6 \text{ kWh/m}^2$. Para obtener resultados comparables entre un sistema sin disipadores y uno con disipadores, se tomaron en cuenta variables medibles dentro del sistema. Se tomaron en cuenta variables térmicas y eléctricas, ya que son las principales fuentes de energía medibles en un sistema fotovoltaico. Considerando variables eléctricas como valores de salida, y variables térmicas como valores de entrada, también como valores de salida residual.

Diseño de concepto.

Considerando la geometría y dimensionado de una celda solar comercial, se propuso un arreglo de disipadores de calor con aletas de 3 mm de ancho, 1 mm de espesor y 20 mm de longitud. Con esto, se calcularon las temperaturas en la base, la parte media y en la punta de las aletas para asegurar su correcta funcionalidad. Por medio de las fórmulas de disipación de calor de sumideros de calor. Se consideraron propiedades térmicas del aluminio y del aire.

Las temperaturas fueron obtenidas por medio de mediciones a materiales expuestos al sol, asimismo, se tomó en cuenta la temperatura promedio de la ciudad.

Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Ancho de la aleta = 0.003 m.
- Espesor de la aleta = 0.001 m.
- Longitud de la aleta = 0.02 m.
- Temperatura en la base = 47.5°C .
- Temperatura ambiente = 18.5°C .
- Coefficiente de transferencia de calor por convección $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Conductividad térmica $k = 167 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Primero se calculó el parámetro de la aleta m :

Para ello se necesitan obtener valores de perímetro y área de sección transversal de las aletas con el uso de la ecuación (21):

$$P = 2 \times (\text{ancho} \times \text{espesor}) \quad (21)$$

$$P = 2 \times (0.003 \text{ m} \times 0.001 \text{ m})$$

$$P = 0.008 \text{ m}$$

El área de sección transversal será la dada en la ecuación (22):

$$A_c = \text{ancho} \times \text{espesor} \quad (22)$$

$$A_c = 0.003 \text{ m} \times 0.001 \text{ m}$$

Con los datos faltantes calculados se obtuvo el parámetro de la aleta:

$$m = \sqrt{\frac{200 \times 0.008}{167 \times (3 \times 10^{-6})}}$$

$$m = 56.51 \text{ m}^{-1}$$

Posteriormente, se calcula la temperatura en distintos puntos de las aletas por medio de la ecuación de temperatura en base a distancia de la aleta, ecuación (23):

$$T(x) = T_{\infty} + (T_{base} - T_{\infty}) \times \frac{\cosh(m(L-x))}{\cosh(mL)} \quad (23)$$

Teniendo así, por cada distancia las ecuaciones (24) a (26):

- En la base de la aleta:

$$T(0) = 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C} + (47.5 \text{ }^{\circ}\text{C} - 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times \frac{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1}(0.02 \text{ m} - 0 \text{ m}))}{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1} \times 0.02 \text{ m})} \quad (24)$$

- En la parte media de la aleta:

$$T\left(\frac{L}{2}\right) = 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C} + (47.5 \text{ }^{\circ}\text{C} - 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times \frac{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1}(0.02 \text{ m} - 0.01 \text{ m}))}{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1} \times 0.02 \text{ m})} \quad (25)$$

- En la punta de la aleta:

$$T(L) = 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C} + (47.5 \text{ }^{\circ}\text{C} - 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}) \times \frac{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1}(0.02 \text{ m} - 0.02 \text{ m}))}{\cosh(56.51 \text{ m}^{-1} \times 0.02 \text{ m})} \quad (26)$$

Se buscó un modelo que se adaptara a las dimensiones de una celda solar comercial, esto con el propósito de ampliar su rango de aplicabilidad en posteriores aplicaciones. Para validar su correcto funcionamiento, se usarán las fórmulas de disipación de calor de sumideros de calor, tomando su temperatura en la base, en la parte media y en la punta de la aleta a escoger. Una vez terminados los cálculos analíticos se escogerá un modelo comercial de disipador de calor y se llevará a cabo una simulación.

Para determinar el tipo de disipador de calor a usar en el experimento físico se hizo una simulación por medio de Abaqus. Se buscó que el modelo disipe calor, al mismo tiempo que sea ligero y permita el flujo del aire a través de las superficies de trabajo. Se consideró que los disipadores de calor deben cubrir 80% de la parte posterior del panel para ser considerados efectivos.

Para la simulación de resultados se llevó a cabo un análisis en estado estático para determinar el desempeño de la celda con la adaptación de disipadores de calor en su parte posterior. Se tomaron en cuenta las propiedades mecánicas y térmicas de los componentes. Una vez llevada a cabo la simulación se hizo una convergencia de mallados para obtener un error menor del 2%.

Resultados

Por medio de la simulación de método de elemento finito en el software Abaqus CAE, se lleva a cabo una simulación considerando los tres principales elementos en el sistema: la celda solar, el material de interfaz térmica y el disipador de calor. Se elaboraron las geometrías en el software Siemens NX.

En la figura 7 se tiene la celda solar, en la figura 8 se tiene el material de interfaz térmica y en la figura 9 se tiene el disipador de calor:

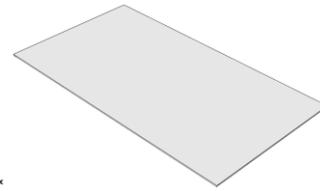


Figura 7. Modelo en CAD de la celda monocristalina.

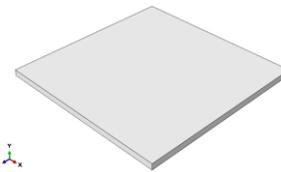


Figura 8. Modelo en CAD de material de interfaz térmica.

Se utilizaron geometrías con valores iguales a las de una celda real comercial, incluyendo curvaturas y grosor total, asimismo, se consideró el espacio destinado a las conexiones eléctricas.

El arreglo de 8 columnas y 7 filas de aletas rectangulares a lo largo y ancho del base, figura 9, basado con un seccionado entre base y aletas permite el correcto funcionamiento de la simulación.

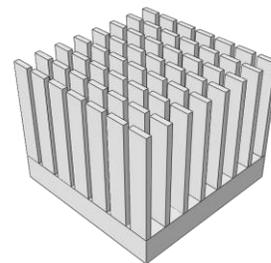


Figura 9. Modelo CAD de disipador de calor.

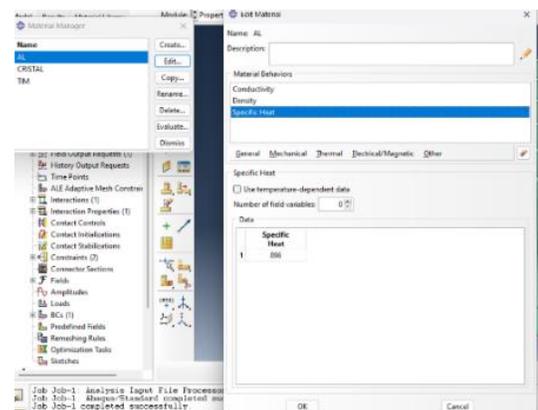


Figura 10. Conductividad del aluminio.

Posteriormente, para cada elemento se definieron propiedades de densidad, conductividad y calor específico. Se definieron las propiedades de los componentes de acuerdo con su ficha técnica. En la figura 10 se define la conductividad del Aluminio en 167 W/mK . Del mismo modo, en la figura 11, se define su densidad como $2,700 \text{ kg/m}^3$ correspondiente al aluminio en este caso.

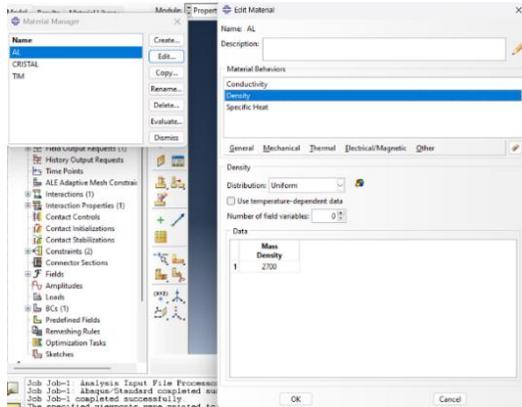


Figura 11. Densidad del aluminio.

El calor específico se muestra en la figura 12, como $896 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

Los valores para la placa solar son definidos por medio del mismo procedimiento, teniendo así la conductividad de la celda como 140 W/mK , su densidad como $2,800 \text{ kg/m}^3$, y su calor específico como $1,500 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

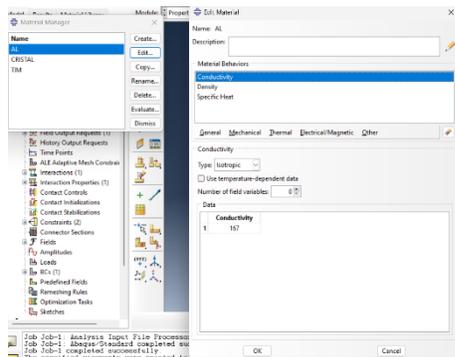


Figura 12. Calor específico del aluminio.

Asimismo, los valores de las propiedades del material de interfaz térmica se definieron del mismo modo con su conductividad térmica como 2.5 W/m-K , su densidad como $2,800 \text{ kg/m}^3$, y su calor específico como $1,500 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

Posteriormente se generan secciones con el material indicado y se asignan a cada componente para que se tengan en cuenta como elementos con material definido, en la figura 13 se muestra el seccionado y definición de material por componente:

Una vez definidos los materiales de cada elemento, se posicionaron los elementos de forma en la que hubo contacto entre ellos con la función de rotate y translate instance.

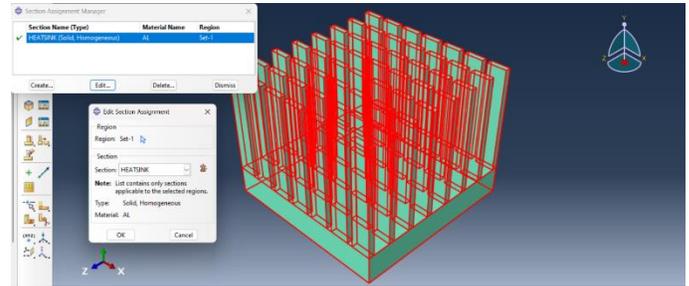


Figura 13. Selección de geometría para determinar material.

Posteriormente, en la sección de “step” se define el estudio a realizar, en este caso se decidió hacer un análisis en estado no transitorio para revisar el comportamiento de la temperatura y transferencia de calor en la celda, la figura 14 muestra la interfaz y como se definió.

Una parte muy importante para que la simulación funcione es la sección de interacción. En esta instancia se define cómo es que los elementos interactúan entre sí, influyendo en sus formas de transferencia de energías. En la figura 15 se expone el coeficiente de película del aire, se consideró de $40 \text{ W/m}^2\text{K}$ y temperatura de 30°C por las condiciones climáticas capturadas en la ciudad.

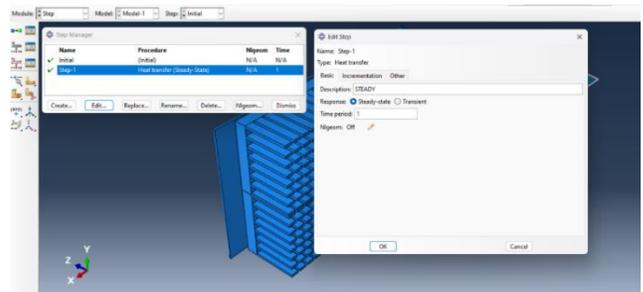


Figura 14. Definición de step (steady-state).



Figura 15. Definición de interacción.

En la figura 16, se define la zona en la cual se tiene mayor influencia, que en este caso son los disipadores de calor.

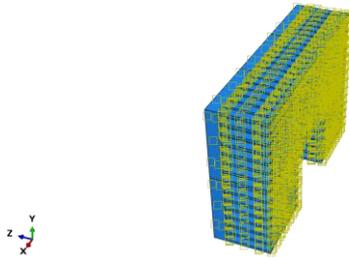


Figura 16. Zona de influencia de la condición de película.

Por otra parte, se definió el contacto entre el TIM y la celda solar, siendo ésta de 10000 W/K , en la figura 17, se ilustra como se define en el software.

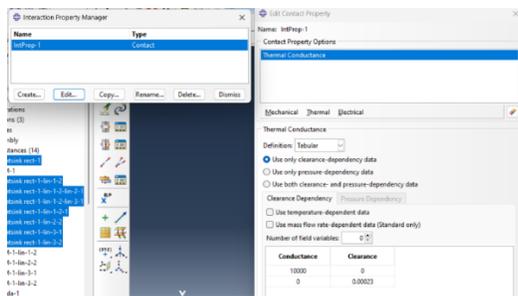


Figura 17. Definición de conductancia en el software.

Para que las interacciones sean válidas, se aplica la restricción de “tie” entre los componentes, en las figuras 18 y 19, se muestra cómo se relacionaron los disipadores de calor con el TIM y el TIM con la celda solar.

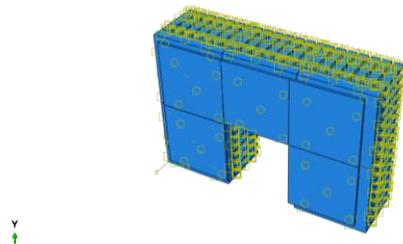


Figura 18. Relación entre disipadores y TIM.

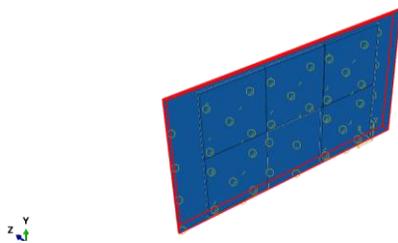


Figura 19. Relación entre TIM y celda.

Una vez definidas las interacciones entre los componentes, se aplicó la condición de frontera de temperatura superficial de la placa solar. La figura 20, muestra cómo y dónde se aplicó esta condición.

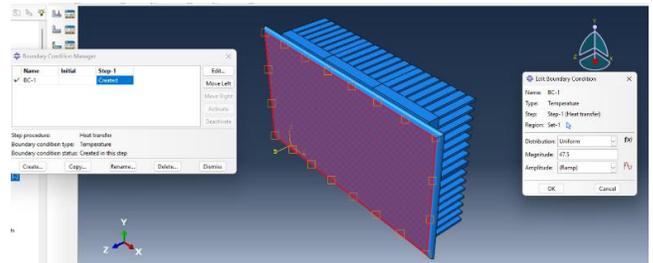


Figura 20. Condición de frontera de temperatura.

Continuando con la simulación, se aplica la malla. Para crearla, se necesita crear un semillado (definición de nodos de las mallas) y posteriormente crear la malla como tal. Se empezó con una malla relativamente gruesa de 1 mm de longitud por arista, teniendo así 25,056 elementos en el mallado.



Figura 21. Mallado (parte frontal).

Asimismo, en la función de “element type” se define que tipo de estudio se llevará a cabo, en este caso se utiliza la opción de transferencia de calor, en las figuras 21 y 22, se muestra la malla aplicada a la geometría.

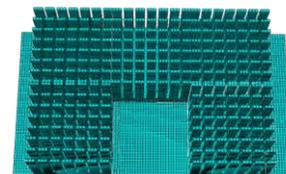


Figura 22. Mallado (parte posterior).

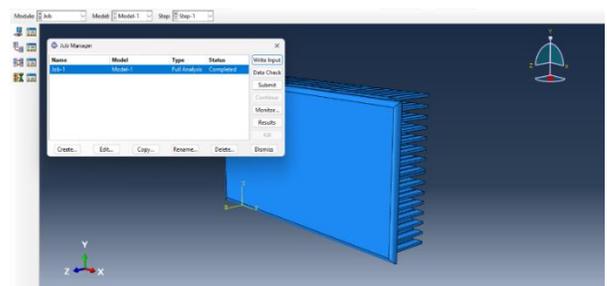


Figura 23. Trabajo exitosamente computarizado.

Una vez con todo definido, se continuó con la sección de “job” y se creó un estudio nuevo para correr. Cuando se sube el trabajo a calcular y el estatus cambia a “completed” sin errores se procede a visualizar los resultados. En la figura 23, se muestra el trabajo completado.

Con el trabajo completado, se realiza la convergencia de mallados con el método de error de gradiente hasta obtener un error menor al 3%, utilizando mallas desde 0.5 mm y reduciendo 0.1 mm por mallado.

En el experimento se propone exponer los paneles solares por 14 días a la intemperie. Una celda solar con una instalación regular y otra con sumidero de calor. Se midieron las temperaturas y señales eléctricas como voltaje y corriente. Las celdas se instalaron a 32 grados, esto se hace considerando el acimut respecto a la posición de la región en la zona (31.695456°, -106.491028°).

Los elementos para ejecución y medición del experimento son los siguientes:

- Celdas solares de 6V y 1W.
- Disipadores de calor rectangulares ATS-61310R-C1-R0.
- Termómetro infrarrojo.
- Multímetro.
- TIM T412 de Parker Chromerics.

Se hicieron capturas de temperatura, corriente y voltaje en las celdas solares todos los días a las 14:00 horas, siendo esta la hora de mayor radiación solar promedio del año. De este modo se obtuvieron los valores de operación bajo condiciones máximas de temperatura.

Con el objetivo de contrastar resultados del comportamiento de los sistemas, se consideraron los valores de la eficiencia de la celda sin disipador de calor como nominal.

En este análisis se toma en cuenta la $\eta_{nominal}$ como el valor de la celda solar funcionando al 100% de su capacidad, teniendo valores de hasta 0.4 W de potencia y eficiencia del 6%. De esta forma se pudieron ilustrar los valores de las eficiencias arrojadas y la diferencia de desempeño entre las dos configuraciones.

Como se demuestra en la ejecución experimental, al aplicar disipadores de calor en celdas solares se tiene un incremento de potencia de hasta 0.1029 W y una reducción de temperatura máxima de 17.8 °C. En promedio se obtiene un incremento de 0.0346 Watts por celda. Con esto se calcula el aumento de eficiencia en el sistema, el cual se demuestra en la tabla 1.

Los valores promedio de las mediciones nos demuestran que hay aumentos de voltaje de hasta 0.66 V, importante para la estabilidad del sistema.

Por otra parte, se puede observar que en cuestión de corriente no se tiene un impacto significativo, pero en cuestión de potencia se obtuvieron valores de hasta de 0.1 W más. La eficiencia energética de

la celda solar puede aumentar hasta un 29.166 % en comparación con su valor nominal, siendo 10.025 % el aumento de eficiencia promedio respecto a su valor nominal.

Tabla 1. Eficiencia registrada por celda solar.

EFICIENCIA						
Día	Potencia Irradiada (Wh/m ²)	POTENCIA OBTENIDA		%		Aumento / Disminución de eficiencia (%)
		Sin Heatsink (W)	Con Heatsink (W)	Sin Heatsink	Con Heatsink	
1	2525.3	0.337	0.397	5.114	6.029	17.888
2		0.343	0.443	5.208	6.727	29.166
3		0.374	0.331	5.671	5.016	-11.548
4		0.375	0.385	5.683	5.839	2.743
5		0.359	0.360	5.442	5.457	0.274
6		0.411	0.457	6.235	6.933	11.189
7		0.400	0.439	6.067	6.657	9.735
8		0.431	0.465	6.541	7.053	7.828
9		0.404	0.438	6.123	6.638	8.414
10		0.397	0.451	6.030	6.834	13.340
11		0.347	0.404	5.258	6.123	16.440
12		0.281	0.306	4.270	4.637	8.586
13		0.357	0.402	5.421	6.097	12.474
14		0.358	0.407	5.425	6.175	13.817

Conclusiones

En la investigación llevada a cabo se demostró que aplicar disipadores de calor con aletas rectangulares en la parte posterior de las celdas solares mejora considerablemente el desempeño energético de un sistema fotovoltaico en condiciones climáticas como las de Ciudad Juárez, Chihuahua.

Los resultados arrojados muestran cómo es que, al reducir la temperatura en un promedio de 10.97 °C, se obtuvo un aumento de voltaje de salida de 0.2475 V y un aumento de potencia de 0.0346 W de media. Estos resultados se traducen en un aumento de eficiencia del 10.02% respecto a sus valores de operación nominales, pudiendo decir que la aplicación de disipadores de calor es una solución viable al sobrecalentamiento de dispositivos fotovoltaicos en zonas con clima cálido.

Se validaron las simulaciones numéricas llevadas a cabo en ABAQUS mediante experimentación con componentes comerciales (un panel solar y disipadores de calor), lo cual respalda la viabilidad del estudio. Por otra parte, se identificaron retos como las variaciones climáticas y costos asociados con el desarrollo y construcción del sistema que podrían influir en el desempeño de sistemas de diferentes escalas. Con la intención de continuar con el desarrollo de sistemas de gestión térmica se sugiere que en futuros estudios se experimente con distintas geometrías como cilindros, perfiles que canalicen el aire o incluso revisar la viabilidad de aplicar ventiladores al sistema. Estos estudios podrían encaminar a soluciones de aprovechamiento eficiente de energía y recursos económicos disponibles, así como su incorporación formal al mercado.

Respecto de las simulaciones numéricas, se podría mallar con diferentes geometrías de elementos y más tamaños de malla e inclusive probar soluciones multipasos. Inclusive, se podría crear un software propio en Python, o fortran o algún otro compilador para comparar variaciones.

Referencias

- [1] D. Larcher and J. M. Tarascon, "Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage," *Nature Chemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 19–29, 2015. DOI: 10.1038/nchem.2085.
- [2] R. Lasseter and P. Piagi, "Microgrid: A Conceptual Solution," 2004.
- [3] Y. Çengel and A. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa*, 4th ed., 2011.
- [4] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Mecánica de Fluidos*, 2019.
- [5] G. Brambati, M. Guilizzoni, and S. Foletti, "Convective heat transfer correlations for Triply Periodic Minimal Surfaces based heat exchangers," *Applied Thermal Engineering*, vol. 242, 2024. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2024.122492.
- [6] F. Incropera, D. DeWitt, T. Bergman, and A. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., 2007.
- [7] Y. A. Çengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2011.
- [8] M. Krstic et al., "Passive cooling of photovoltaic panel by aluminum heat sinks and numerical simulation," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 1, 2024. DOI: 10.1016/j.asej.2023.102330.
- [9] M. Barhami, "Natural Convection," 2009.
- [10] European Union Clean Energy Technology Observatory, "STATUS REPORT ON TECHNOLOGY DEVELOPMENT, TRENDS, VALUE CHAINS & MARKETS," 2023.
- [11] R. Gallardo, S. Placencia, and L. González, "Diseño de un cargador de baterías en aplicaciones de energía solar," 2014.
- [12] A. Al-Waeli and H. Kazem, *Photovoltaic / Thermal (PV/T) Systems*, 2019.

- [13] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 226, pp. 272–288, 2013. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.10.060.
- [14] El Paso International Airport, "Datos históricos meteorológicos de 2024 en Ciudad Juárez," 2024. [Online]. Available: WeatherSpark.
- [15] GPD Global, "Keeping Cool: How Thermal Interface Materials Drive Electronic Innovation," 2024.
- [16] A. M. Ali Morad, A. K. S. Al-Sayyab, and M. A. Abdulwahid, "Optimization of tilted angles of a photovoltaic cell to determine the maximum generated electric power: A case study of some Iraqi cities," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, pp. 484–488, 2018. DOI: 10.1016/j.csite.2018.07.001.

Semblanza Autores



Diego Moisés Almazo Pérez, Dr. en ciencias en Ingeniería mecánica, especialidad, turbo maquinaria. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.



Delfino Cornejo Monroy, Dr. En Ciencias en Ingeniería Mecánica. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.



Luis Esteban Argueta Ramírez, es ingeniero mecánico. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.



Carlos Alberto Gómez Álvarez, Dr. en ciencias en Ingeniería mecánica. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.



Roberto Romero López, Dr. En Ciencias en Ingeniería Mecánica. Actualmente labora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.