

Diseño y simulación CFD del subsistema de enfriamiento de un sistema fotovoltaico de concentración solar

Francisco Eduardo De Loera-Lona ¹, Moisés Montiel-González ² Carlos Pineda-Arellano ³ e Iván Salgado-Tránsito ^{3,*}

¹ Centro de investigaciones en Óptica A. C. Unidad Aguascalientes, ProL. Constitución 607, Fracc. Reserva Loa Bonita, CP 20200 Aguascalientes, Ags, México

² Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Cuernavaca, 62209, México

³ CONACYT-Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. Unidad Aguascalientes, ProL. Constitución 607, Fracc. Reserva Loma Bonita, CP 20200, Aguascalientes Ags. México

* corresponding: franciscol@cio.mx; isalgadotr@cio.mx Tel.: +52 4492632422

Energías renovables.

Palabras clave: Concentración solar; Dinámica de fluidos computacional; Enfriamiento pasivo; Disipador de calor; Lente de fresnel

Introducción. Los sistemas de concentración fotovoltaicos (CPV) han alcanzado los mayores records de eficiencia de conversión, alrededor del 47.1% comparado con el 21 % de las celdas de Silicio. Sin embargo, para mantener las alta eficiencias (Green et al,2021), la temperatura debe mantenerse controlada y en un intervalo de temperatura bien definido. Debido a los altos flujos de irradiación solar en los que se trabaja en los sistemas CPV; es necesario la innovación y el desarrollo de mejores sistemas de enfriamiento que permiten a las celdas solares mantenerse a una temperatura óptima de operación, pero con un bajo consumo energético. Los sistemas de enfriamiento pasivo son de fácil manufactura, su mantenimiento podría considerarse casi nulo, alta fiabilidad debido a que no integran un sistema de control activo, además de no tener pérdidas parasitarias ya que no consume energía para operar y esto no reduce la generación neta de energía. Por ello en este trabajo se presenta una simulación robusta utilizando la técnica de dinámica de fluidos computacional (CFD) para el diseño de un subsistema de enfriamiento pasivo en un sistema CPV. Se consideran los efectos de la alta concentración solar, las pérdidas por convección, los efectos de la inclinación debido al seguimiento solar, así como los efectos de la temperatura del ambiente. Se realizaron una serie de experimentos complementarios para reducir incertidumbres y bajo estas consideraciones se logró mantener la temperatura de la celda solar por debajo de los 105°C en las peores condiciones, mientras se observó que el efecto de la inclinación incrementa en 10% la temperatura promedio de la celda.

Materiales y Métodos. CFD (Dinámica de fluidos computacional) principalmente integra tres disciplinas: Mecánica de fluidos, matemáticas y ciencias computacionales, la dinámica de fluidos se describe de forma matemática, usualmente en forma de ecuaciones diferenciales, las cuales representan el fenómeno físico de interés y comúnmente son llamadas "ecuaciones gobernantes" en CFD (Xamán et al,2016). El modelo físico que representa este trabajo es el modelo de la convección natural y se resuelve el modelo de transferencia de calor conjugado que integra las ecuaciones de la conservación de masa, cantidad de movimiento y de la energía, de manera numérica con ayuda del módulo "Fluent" del software comercial ANSYS en su versión 2019 R2. La metodología general del proyecto se puede observar en la figura 1, donde se pueden apreciar las actividades realizadas para alcanzar los resultados.

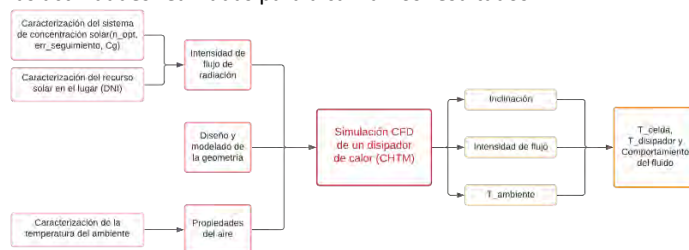


Figura 1. Metodología general del proyecto

Para obtener las condiciones de entrada en la simulación se realizó una serie de experimentos para caracterizar el sistema de concentración solar. El esquema general para caracterizar este sistema se puede apreciar en la figura 2, además de mostrar el diseño propuesto para el disipador de calor, el cual fue modelado en la versión académica del software Solid Works 2017

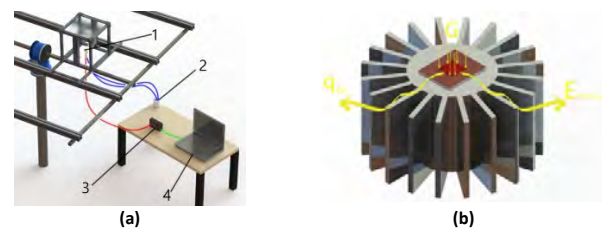


Figura 2. (a) Esquema de caracterización del concentrador solar (1) Transductor de flujo de calor, (2) Refrigerante, (3) Adquisidor de datos, (4) CPU (b) Diseño propuesto del disipador de calor

Para la caracterización del recurso solar y de las condiciones climáticas del lugar a modelar se usó el Software de código abierto SAM Modeler que fue desarrollado por el Laboratorio de Energía Renovable Nacional (NREL). Dicho Software integra una librería con el año meteorológico típico (TMY) de diferentes regiones del mundo.

Una vez que se cuenta con las condiciones de frontera y el modelado, se parte a realizar el mallado computacional, el cual fue elaborado en el módulo de ANSYS Meshing, a partir de un análisis de sensibilidad de malla. Se aprecia en la figura 3. Se aprovecharon las propiedades simétricas del modelo para así ahorrar costo computacional, el mallado para la región sólida y aérea cuenta con 3,200,000 elementos tetraédricos acoplados.

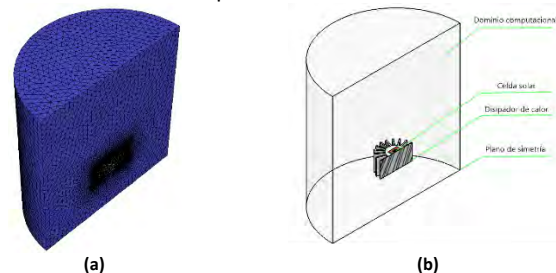


Figura 3. (a) Mallado final (b) Sistema que fue simulado

Para tener certidumbre de que estamos resolviendo el modelo matemático correctamente se realizó una verificación de un artículo científico elaborado por (Meng et al,2018) para comparar los resultados obtenidos. La caracterización del recurso solar nos arrojó un rango de valores de radiación solar directa los cuales se consideraron en las simulaciones realizadas. Los resultados de las simulaciones son representados en la figura 4, donde podemos

apreciar el comportamiento de temperatura de la celda solar bajo distintas condiciones de radiación solar directa a distintas temperaturas en el ambiente y a distintas inclinaciones de operación.

Resultados. Los datos obtenidos de la caracterización del concentrador solar se pueden observar en la tabla 1:

Tabla 1. Caracterización del PVCS.

Variable	Símbolo	Valor
Factor de concentración geométrico	C_g	722.5X(Soles)
Eficiencia óptica	η_{opt}	89%
Error de seguimiento	E_{seg}	3.5%

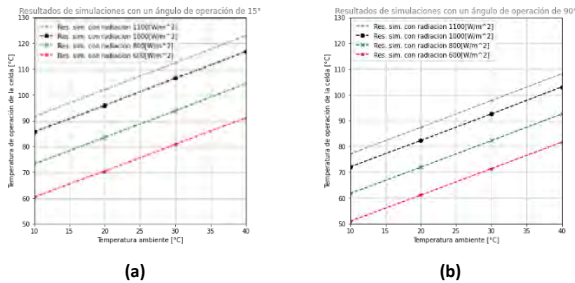


Figura 4. Comportamiento de la temperatura en la celda solar: (a) Con un ángulo de inclinación de 15° y (b) con inclinación de 90°

Los contornos de temperatura y las líneas de corriente para cuando el sistema está operando a 15° se aprecian en la figura 5.

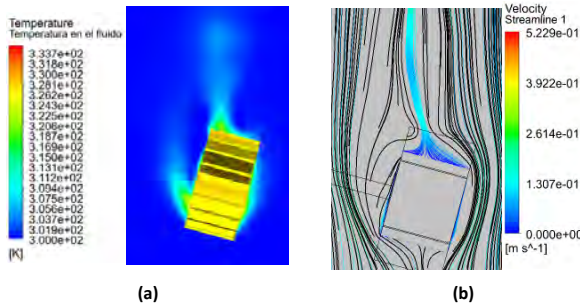


Figura 5. Resultados del sistema operando a una inclinación de 15° (a) Contornos de temperatura (b) Líneas de corriente del fluido

Los contornos de temperatura y las líneas de corriente para cuando el sistema está operando a 90° se aprecian en la figura 6.

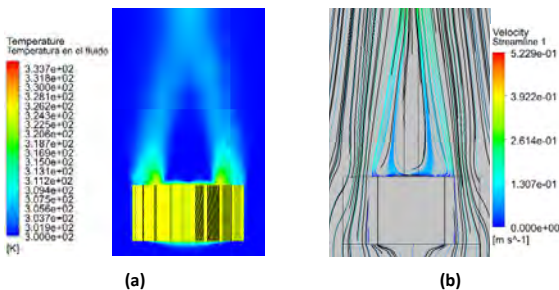


Figura 6. Resultados del sistema operando a una inclinación de 90° (a) Contornos de temperatura (b) Líneas de corriente del fluido

Conclusiones. El control de temperatura de operación en las celdas solares que forman parte de un sistema PVC es de suma importancia, pero no se debe descuidar el hecho de que la comunidad científica quiere impulsar estos sistemas impulsando la disminución de los

costos de los subsistemas que lo conforman, es por eso que se acentúan las ventajas de un sistema de enfriamiento pasivo. Entre las distintas geometrías que se presentan en la literatura para sistemas de enfriamiento pasivo por convección natural, esta propuesta de diseño presenta ciertas ventajas, ya que se analiza el comportamiento de su interacción con los fluidos y esto permite evitar las zonas de estancamiento de aire caliente que presentan algunas geometrías propuestas en la literatura. Además de que al ser análisis numéricos se evita la incertidumbre en las condiciones de frontera con ayuda de las caracterizaciones realizadas con experimentación. Además, el comportamiento de temperatura de la celda solar bajo las condiciones de análisis está dentro del rango de temperaturas que es impuesto por el fabricante de la celda solar.

Bibliografía.

- Green, M., Dunlop, E., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2021). Solar cell efficiency tables (version 57). *Progress in photovoltaics: research and applications*, 29(1), 3-15.
- Meng, X., Zhu, J., Wei, X., & Yan, Y. (2018). Natural convection heat transfer of a straight-fin heat sink. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 123, 561-568.
- Xamán, J. (2016). *Dinámica de fluidos computacional para ingenieros*. Palibrio.