

EVALUACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE DINÁMICA DE FLUIDO COMPUTACIONAL

EVALUATION OF A FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

María Clara Cortizo Carbone^{1,4}, Juan Cruz Catalano^{1,4}, César M. Venier^{2,4}, César I. Pairetti^{2,4},
Johan Sarache Piña^{1,3} y Darío Godino^{1,5}

¹CIMEC Centro de Investigación de Métodos Computacionales (UNL, CONICET), Santa Fe, Argentina

²IFIR Instituto de Física de Rosario (UNR, CONICET), Rosario, Argentina

³Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Santa Fe, Argentina

⁴Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Escuela de Ingeniería Mecánica, Rosario, Argentina

⁵Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina

Palabras clave: Transferencia de calor, colector solar, radiación.

Resumen. Este trabajo presenta un estudio de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación en un colector solar de placa plana mediante dinámica de fluidos computacional utilizando OpenFOAM®. Basado en las dimensiones y condiciones operativas de un colector solar existente en la Universidad Nacional de Rosario, se analiza primero una geometría bidimensional para calibrar el modelo numérico. Posteriormente, se evalúa una geometría tridimensional que representa el tubo central del colector. Sobre el mismo se estudia el rendimiento térmico y la evolución de variables clave a lo largo de un día de verano, considerando distintos niveles de irradiancia solar. Los resultados obtenidos permiten predecir con precisión el comportamiento térmico del colector, proporcionando una comprensión detallada de su dinámica física.

Keywords: Heat transfer, solar collector, radiation.

Abstract. This paper presents a study of heat transfer by conduction, convection and radiation in a flat plate solar collector using computational fluid dynamics with OpenFOAM. Based on the dimensions and operating conditions of an existing solar collector at the National University of Rosario, a two-dimensional geometry is first analysed to calibrate the numerical model. Subsequently, a three-dimensional geometry representing the central tube of the collector is evaluated. The thermal performance and the evolution of the main variables are studied over the course of a summer day, taking into account different levels of solar radiation. The results obtained allow the thermal behaviour of the collector to be accurately predicted and provide a detailed understanding of its physical dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los sistemas solares térmicos han aumentado su relevancia tecnológica, debido a una gran difusión e implementación, principalmente, en sistemas domésticos, como para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción. En particular, los colectores solares han demostrado ser una buena herramienta en el aprovechamiento de la energía solar disponible.

Durante las últimas décadas, el estudio térmico de los colectores solares ha evolucionado notablemente gracias al desarrollo de modelos dinámicos y herramientas numéricas avanzadas. Los primeros modelos disponibles se basaban en simplificaciones estáticas, como los desarrollados por [Hottel y Whillier \(1958\)](#) y [Whillier \(1953\)](#), los cuales consideraban coeficientes de pérdida de calor constante. Posteriormente, se propusieron modelos cada vez más complejos y dinámicos para intentar describir la transferencia de calor de una manera más realista. En los últimos años, la dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) ha permitido realizar análisis más detallados del comportamiento de los colectores solares bajo distintas configuraciones geométricas y condiciones de funcionamiento.

El uso de simulaciones CFD ha demostrado ser una herramienta muy poderosa para analizar con mayor detalle el comportamiento de los colectores solares. [Tagliafico et al. \(2014\)](#) presentan una revisión actualizada de los modelos para colectores solares de placa plana, entre los cuales se destacan trabajos como los de [Fan et al. \(2007\)](#), [Selmi et al. \(2008\)](#) y [Gunjo et al. \(2017\)](#), que han mostrado cómo las simulaciones CFD pueden predecir la distribución del flujo y la transferencia de calor en colectores solares de placa plana, obteniendo resultados que coinciden de manera notable con los datos experimentales. Otros estudios, como los de [Gertzos et al. \(2008\)](#), [Gertzos y Caouris \(2008\)](#) y [Gertzos et al. \(2010\)](#), han explorado configuraciones más complejas, como colectores con tubos triangulares o diseños integrados que combinan almacenamiento de agua y colectores en un solo dispositivo, lo que reduce el espacio y los costos de instalación.

Aún con las ventajas y bondades que presenta el CFD respecto de los demás métodos de análisis, a medida que se incorporan cada vez más fenómenos físicos en los dispositivos en estudio, se encuentran discrepancias entre los resultados numéricos y los experimentales. Esta situación ha sido reportada por [Fan et al. \(2007\)](#) al encontrar que sus resultados numéricos mostraban una buena concordancia con los datos experimentales para altos caudales, sin embargo, hallaron discrepancias para bajos caudales. [Turgut y Onur \(2009\)](#) reportan que, aunque lograron una buena concordancia entre los resultados numéricos y experimentales, observaron cierta variación en la predicción del coeficiente de transferencia de calor. En general, los autores atribuyen estas diferencias a posibles simplificaciones de los modelos utilizados.

Debido a esto, es de vital importancia continuar ajustando los modelos numéricos en contraste con los resultados experimentales para lograr predecir con éxito el desempeño térmico de los colectores solares para distintas configuraciones de funcionamiento. En esta línea, este trabajo es una continuación de un trabajo anterior presentado por [Catalano et al. \(2023\)](#), donde se validó el código computacional para simular procesos de transferencia térmica en cavidades cerradas de geometría sencilla. A partir de ello, el objetivo del presente trabajo es estudiar el comportamiento térmico de un colector solar de placa plana, utilizando herramientas de CFD mediante OpenFOAM. A través de la simulación conjugada de los mecanismos de conducción, convección y radiación en geometrías bidimensionales y tridimensionales representativas de un colector solar, se busca calibrar y validar un modelo numérico que permita predecir con precisión la temperatura de salida del fluido, el flujo de calor absorbido por el mismo y rendimiento térmico del equipo en diferentes condiciones de irradiancia solar. Asimismo, este estudio pretende ampliar el conocimiento en esta área, analizando la evolución de las principales variables

térmicas a lo largo de un día promedio de verano y obteniendo un entendimiento profundo de los patrones de flujo y transferencia de calor en el dispositivo.

2. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO

2.1. Modelo matemático

Los dos problemas a estudiar en este trabajo tienen la particularidad que contar con regiones fluidas y sólidas, que se resuelven de forma acoplada, en estado estacionario, incorporando un modelo para contemplar la transmisión de calor por radiación. Para la región fluida se consideran las hipótesis de flujo incompresible y laminar. Asimismo, las propiedades termodinámicas se consideran constantes, a excepción de la densidad, la cual varía en función de la temperatura mediante la aproximación de Boussinesq.

Para resolver el comportamiento dinámico del fluido se plantean las ecuaciones de Navier-Stokes (Ec. (1) y Ec. (2)) que corresponden a la conservación de la masa y el momento lineal, respectivamente. Además, se considera la Ec. (3) para la conservación de energía y estudiar el comportamiento térmico del fluido.

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\vec{u}\vec{u}) = -\frac{1}{\rho_{0,f}} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{u} + \vec{g}\beta(T_f - T_{0,f}) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\vec{u}T_f) - \alpha_f \nabla^2 T_f = 0 \quad (3)$$

Para las regiones sólidas, se resuelve la ecuación Ec.(4) de conservación de energía.

$$\alpha_s \nabla^2 T_s = 0 \quad (4)$$

En las interfases se propone una condición de contorno tipo mixta en la cual iguala el flujo de calor y la temperatura de ambas regiones en la interfase (véase Ec. (5)).

$$\kappa_f \frac{\partial T_f}{\partial n} = \kappa_s \frac{\partial T_s}{\partial n} \quad T_f = T_s \quad (5)$$

Este sistema de ecuaciones acopladas se resuelve para la velocidad \vec{u} y la presión p del fluido, la temperatura del fluido T_f y la del sólido T_s . Las propiedades del fluido son la densidad ρ_f , la viscosidad cinemática ν , el coeficiente de expansión volumétrico β y la difusividad térmica α_f . En cuanto a las propiedades del sólido, se encuentra la conductividad térmica κ_s y la difusividad térmica α_s .

2.2. Configuración numérica

Las Ec. (1)-(4), se discretizan utilizando volúmenes finitos (FVM, por sus siglas en inglés), con el *solver* estacionario *chtMultiRegionSimpleFoam* (implementado en OpenFOAM®), el cual utiliza el algoritmo segregado tipo SIMPLE. Para la discretización de las ecuaciones se utilizó *upwind* para los términos advectivos y *linear* para los términos difusivos. Para acelerar la convergencia de las simulaciones, se activó la predicción de momento para los medios fluidos. Como esto genera cierta inestabilidad, se utilizaron factores de relajación para la velocidad de los fluidos y para la energía de todas las regiones. Los criterios de convergencia para los residuos normalizados son de 10^{-8} para la presión y 10^{-6} para las demás variables.

El modelo de factores de vista, o *viewFactor*, descrito por Howell et al. (2010) y Modest (2003), implementado en OpenFOAM®, se utiliza en este trabajo para calcular el flujo de calor radiativo entre superficies. Se adoptan las hipótesis de superficies grises y difusas. El balance de calor radiativo se evalúa considerando las contribuciones de calor emitido, reflejado y absorbido entre las superficies, bajo la suposición de un medio no participativo (es decir, vacío). La ecuación discretizada se presenta en la Ec. (6), donde δ_{ij} es el delta de Kronecker, ε_j la emisividad en la superficie j , F_{i-j} el factor de vista que indica la proporción de energía emitida por la superficie i y que llega a la superficie j , q_j es el calor neto por radiación en la cara j , E_{bj} es la energía emitida por la cara j como cuerpo negro y H_{0i} es un término fuente de calor impuesto en la cara i , que en este caso se considera nulo.

$$\sum_{j=1}^N \left[\frac{\delta_{ij}}{\varepsilon_j} - \left(\frac{1}{\varepsilon_j} - 1 \right) F_{i-j} \right] q_j = \sum_{j=1}^N [\delta_{ij} - F_{i-j}] E_{bj} - H_{0i} \quad (6)$$

3. PRESENTACIÓN CASOS

Este trabajo se basa en la geometría de un colector solar destinado a futuros ensayos experimentales, y se analiza un tubo central, reduciendo su largo a 0,1 m (en lugar del largo de 1 m real) para disminuir el costo computacional. El tubo tiene un diámetro de 10 mm con una placa de 1 mm de espesor a cada lado, modelados como un único sólido, ya que en el colector real las placas están soldadas al tubo. Se consideran dos cámaras de aire de de 25 mm de espesor, una por encima y una por debajo de la placa. Dentro del tubo circula agua, con una velocidad de ingreso de 0,0385 m/s, velocidad calculada en base al caudal del experimento, teniendo en cuenta que el colector real cuenta con 5 tubos paralelos.

En la Figura 1 se muestran las geometrías propuestas para el caso 2D (izquierda) y el caso 3D (derecha) que se analizan en este trabajo. Además, se muestran las condiciones de borde principales de cada uno de los dominios. Cabe aclarar que, en estas simulaciones, no se considerarán los tubos cabezales de entrada y salida del fluido que distribuyen y colectan el agua entre los tubos.

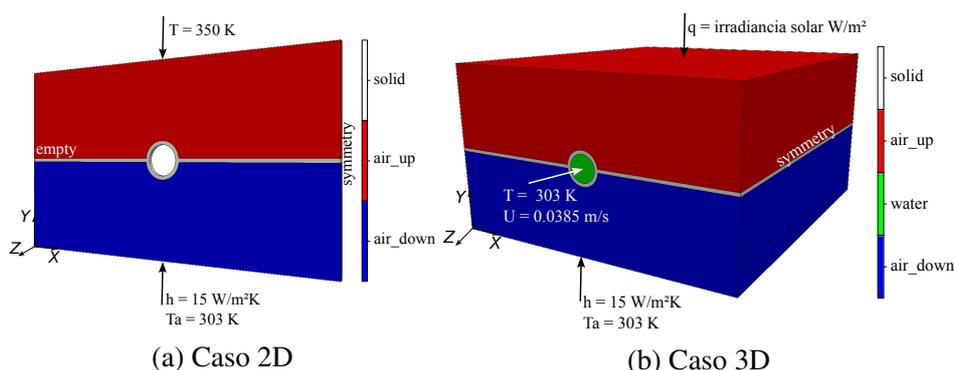


Figura 1: Geometrías 2D y 3D utilizadas para analizar el fragmento de tubo del colector solar, coloreadas según las regiones consideradas y con indicaciones de las condiciones de borde principales.

Se inicia el análisis mediante una simulación bidimensional para ajustar adecuadamente la configuración numérica correspondiente, para luego realizar un estudio tridimensional. Se considera que todas las superficies del colector son emisoras y receptoras de radiación, y el aire es un medio no participativo en el proceso de transferencia de calor por radiación.

3.1. Colector bidimensional

Para el caso 2D de la Figura 1a se modela un dominio de 1 mm de largo con dos cavidades de aire separadas por un sólido que modela el tubo y la placa de absorción. Los laterales izquierdo y derecho tienen una condición de simetría. La cara superior se encuentra a una temperatura fija $T_h = 350 K$ y en la cara inferior se establece una condición de convección natural con el ambiente a una temperatura $T_a = 317,4 K$ y con un coeficiente de convección $h = 15 W/m^2 K$. El coeficiente de convección se calculó como $h = 3,9 v_{viento} + 5,62$ (Badiei et al. (2020) y Hamed et al. (2017)), con una velocidad del viento $v_{viento} = 2,4 m/s$, típica de viento calmo. Las caras frontal y posterior de la cavidad poseen una condición de simetría para realizar la simulación 2D. Al no incluir el agua circulante por el interior del tubo central, se aísla térmicamente la superficie interior del tubo. El objetivo de este caso es verificar que la energía incidente en la cara superior de la cavidad se evacúe por la inferior y que el flujo de calor se transmita correctamente entre las regiones, obteniendo un campo de temperatura continuo.

3.2. Malla

La Tabla 1 presenta los principales parámetros de la malla que se muestra en la Figura 2, que se conforma de dos regiones fluidas independientes para las cavidades de aire y una región sólida para el tubo y la placa de absorción. En este caso, se mantuvieron los parámetros de mallado utilizados en el trabajo anterior presentado por Catalano et al. (2023), donde se realizaron análisis de convergencia en malla para problemas similares. En dicho trabajo, la malla fue diseñada para captar correctamente los gradientes térmicos e hidrodinámicos cercanos a las paredes. Debido a estos antecedentes y los resultados favorables obtenidos, se espera que los mismos parámetros de mallado resulten adecuados para este estudio.

Región	solid	air up	air down	total
N° de celdas	2560	7520	7520	17600
Distancia mínima [mm]	0,106	0,360	0,360	-

Tabla 1: Característica de la malla utilizada para el caso 2D del colector solar.

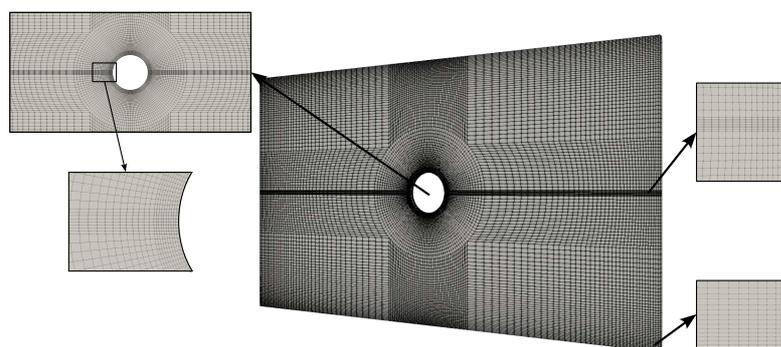


Figura 2: Malla 2D.

3.3. Colector tridimensional

Una vez verificada y ajustada la configuración numérica para simular la interacción fluido-sólido en 2D, acoplando los efectos de la radiación entre las superficies, se utilizan estos pará-

metros para realizar la simulación 3D del tubo del colector.

El dominio que muestra en la Figura 1b tiene un largo de 0,1 m e incluye las dos cavidades de aire, el sólido del tubo y la placa de absorción y se incorpora la región de agua dentro del tubo. Al igual que en el caso 2D, los laterales de la cavidad tienen una condición de simetría. En la cara superior se impone un flujo de calor que representa la radiación solar recibida perpendicularmente, con valores entre 88 W/m^2 y 1035 W/m^2 , para simular distintas condiciones operativas. La cara inferior mantiene la condición de convección natural con el medio ambiente a una temperatura $T_a = 317,4 \text{ K}$ y un coeficiente de convección $h = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Las caras frontal y posterior están aisladas térmicamente. Se considera que el colector está montado con una inclinación de 30° para captar directamente la radiación solar. El agua que circula dentro del tubo del colector ingresa por la zona inferior a una temperatura fija y constante $T = 303 \text{ K}$ con una velocidad de $0,0385 \text{ m/s}$, y sale del colector solar en la zona superior a presión atmosférica.

En la Tabla 2 se listan los parámetros principales de la malla que se muestra en la Figura 3.

Región	solid	air up	water	air down	total
N° de celdas	256000	752000	480000	752000	2240000
Distancia mínima [mm]	0,106	0,360	0,085	0,360	-

Tabla 2: Característica de la malla utilizada para el caso 2D del colector solar.

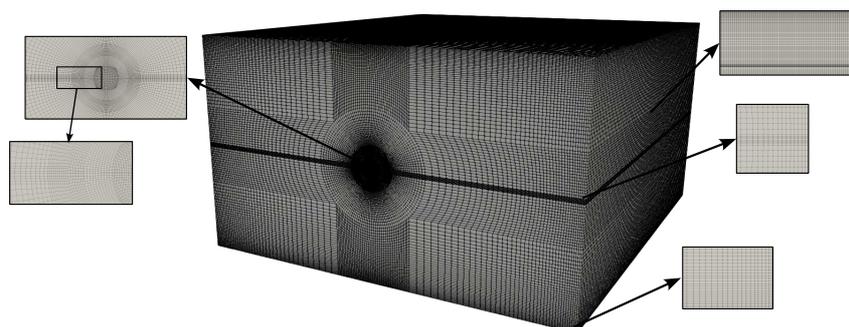


Figura 3: Malla 3D.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Colector bidimensional

Los resultados presentados se centran en la transferencia térmica entre el medio fluido y el sólido, tomando como referencia la interfase de la superficie del sólido en contacto con la cavidad de aire superior del colector solar. La Figura 4a presenta el flujo de calor total en esta interfase, tanto para el caso con radiación como sin radiación, reflejando la transferencia de energía a través de conducción, convección y radiación. Se observa que el flujo de calor total intercambiado es mayor en el caso con radiación, lo que concuerda con las condiciones de las simulaciones, ya que se mantuvo la misma temperatura en la cara superior de la cavidad y la misma condición de convección en la cara inferior. Por lo tanto, el flujo de calor por conducción y convección es similar en ambos casos, y la radiación añade una nueva componente de transferencia de calor que incrementa el flujo de calor que ingresa al sistema.

La Figura 4b muestra el perfil de temperaturas en la misma interfase, corroborando que el caso con radiación presenta temperaturas más altas que el caso sin radiación. Aunque las

diferencias obtenidas en la temperatura son pequeñas, se capturaron con suficiente detalle los resultados, alineándose con los fenómenos físicos analizados.

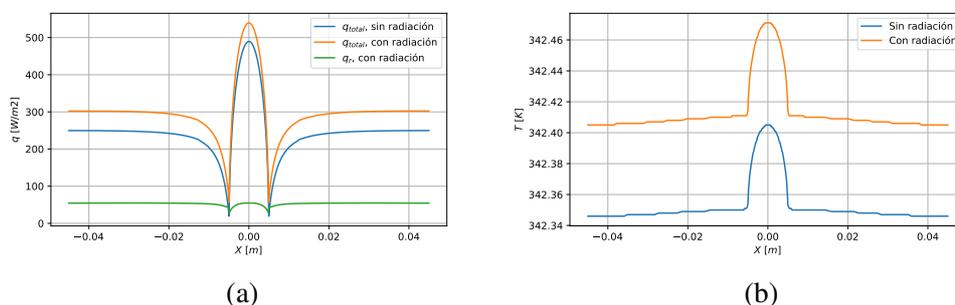


Figura 4: (a) Flujo de calor y (b) Temperatura entre el sólido y el aire de la cavidad superior para los casos 2D con y sin radiación, en la interfase entre el sólido y el aire de la cavidad superior

Este primer caso de estudio, con una geometría simplificada y un menor costo computacional que el colector solar 3D, permitió ajustar la configuración de las simulaciones sobre el acoplamiento de la radiación entre regiones sólidas y fluidas. Los resultados obtenidos permiten observar los fenómenos físicos involucrados y evidencian la importancia de incorporar la radiación en el análisis de colectores solares, destacando el aumento significativo del flujo de calor que debe considerarse.

4.2. Colector tridimensional

En esta sección, se realizarán dos análisis: primero, se mostrará la influencia de la radiación en el comportamiento de las distintas regiones; segundo, se evaluará el desempeño térmico del colector solar bajo diversas condiciones de irradiancia solar.

Análisis del colector solar

Se realizaron simulaciones con y sin modelo de radiación, aplicando un flujo de calor $q = 1035 \text{ W/m}^2$ en la cara superior del colector para simular la recepción de la irradiancia solar.

La Figura 5 muestra una comparación de los campos de temperatura (izquierda) y de velocidad (derecha) en el plano medio transversal al tubo del colector, para los casos sin radiación (a la izquierda) y con radiación (a la derecha). En ambos casos, la solución de la temperatura es continua, resultado indistinguible la presencia del tubo y la placa entre las cavidades de aire, sin embargo, se observan diferencias en la distribución de la temperatura, especialmente en la cavidad de aire inferior. Sin radiación, se generan zonas isotérmicas aproximadamente concéntricas alrededor del tubo, dominadas por la difusión térmica, comportamiento característico a bajo número de Rayleigh, debido a las bajas velocidades de convección generadas en las cavidades de aire. Por contraparte, con radiación se presentan mayores velocidades que alteran el patrón isotérmico. Un comportamiento análogo se observa en el campo de velocidad de la cavidad inferior. Cabe destacar que estas velocidades son bajas en comparación con la circulación del agua dentro del tubo, y no se observan patrones de convección natural en la dirección transversal del tubo.

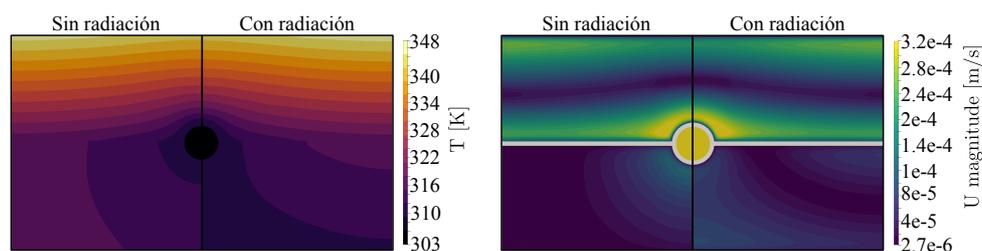


Figura 5: Comparación de los campos de temperatura y velocidad, sobre un plano transversal al tubo, con y sin radiación, y con una irradiancia de 1035 W/m^2 en la cara superior.

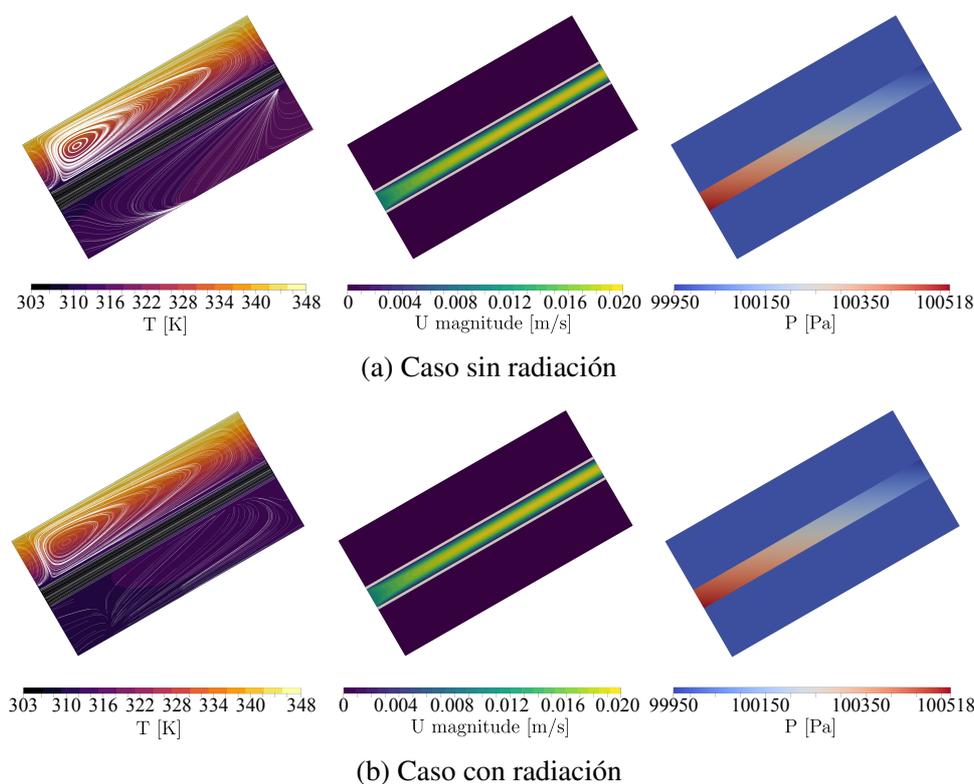


Figura 6: Comparación de los campos de temperatura, velocidad y presión, sobre un plano longitudinal del tubo, para los casos 3D, con y sin radiación, con una irradiancia de 1035 W/m^2 en la cara superior.

En la Figura 6 se presentan los campos de temperatura, de velocidad y de presión (de izquierda a derecha), sobre un plano longitudinal del tubo, para los casos sin radiación (superior) y con radiación (inferior), respetando la inclinación de 30° del colector. Las líneas de corriente del aire de las cavidades y del agua dentro del tubo se superponen en el campo de temperatura, facilitando la visualización de la convección natural dentro de las cavidades de aire, debido a que la velocidad del aire es relativamente pequeña en comparación con la del agua. Se obtuvieron soluciones continuas para todas las variables de interés, lo que indica un correcto acoplamiento de las regiones y una adecuada interacción a través de las interfases.

En la cavidad superior, los patrones de flujo son similares en ambos casos, mientras que en la cavidad inferior, la circulación del fluido muestra diferencias al considerar la radiación, lo que también afecta la distribución de temperatura, fenómeno también observado en el corte

transversal del colector. En el campo de velocidad, se aprecia el desarrollo de la capa límite hidrodinámica del agua dentro del tubo. En el campo de presión, se observa que el aire de ambas cavidades se mantiene aproximadamente a presión atmosférica, mientras que el agua experimenta un aumento de presión en la zona de ingreso y alcanza la presión atmosférica en la salida.

Esta Figura también ilustra el salto térmico del agua al ingresar al colector a una temperatura inferior, generando un flujo de calor hacia el agua para alcanzar el equilibrio térmico. Esta dinámica origina una capa límite térmica en el flujo de agua, visible en el campo de temperatura, mientras que el campo de velocidad muestra el establecimiento del flujo laminar completamente desarrollado dentro del tubo, y el campo de presión refleja el gradiente de presión del agua debido a su paso por el tubo.

Análisis del colector solar a lo largo del día

Para evaluar el desempeño térmico del colector solar a lo largo de un día de verano, se utilizaron los datos de radiación del mes de enero del año 2024 en la ciudad de Buenos Aires, disponibles en el registro histórico del Servicio Meteorológico Nacional. Primero, se promediaron los valores correspondientes a cada hora del día, y luego se calculó el promedio de todos los días del mes, obteniendo la curva de la Figura 7, que representa la irradiancia solar promedio durante el día, para el mes de enero del año 2024 sobre la ciudad de Buenos Aires. Se seleccionaron seis momentos del día con diferentes niveles de irradiancia solar para realizar las simulaciones, abarcando así distintos momentos representativos del día. La irradiancia solar se considera como flujo de calor impuesto sobre la superficie superior del colector.

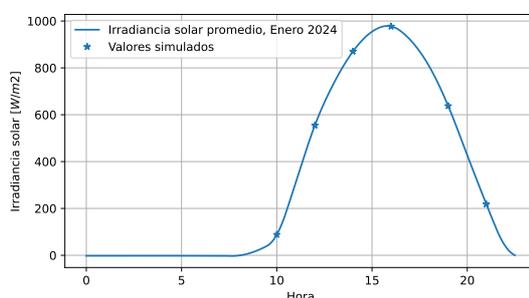


Figura 7: Irradiancia solar diaria promedio en la ciudad de Buenos Aires durante enero 2024.

En la Figura 8a se muestra la temperatura promedio de salida del agua en los diferentes momentos del día. Se observa que, durante los momentos de mayor irradiancia solar, el agua alcanza temperaturas más altas en su paso por el colector solar, evidenciando una mayor absorción de energía, con una diferencia de casi 2 K entre los momentos de mayor y menor irradiancia solar analizados. Aunque la diferencia de temperatura entre el ingreso del agua ($T = 303\text{ K}$) y la salida es pequeña, se vuelve significativa considerando que el tubo del colector solar mide $0,1\text{ m}$ de largo y eleva $2,1\text{ K}$ la temperatura de $1,9\text{ g}$ de agua por segundo en el momento de mayor incidencia de radiación solar.

Se calculó el calor total que ingresa por la cara superior $Q_{cara\ superior}$ debido al flujo de calor impuesto de la irradiancia solar y la emisión propia de energía en forma de radiación de la superficie. También se calculó el calor total absorbido por el agua Q_{agua} y el calor cedido al ambiente a través de la cara inferior $Q_{cara\ inferior}$, el cual representa las pérdidas de calor del colector solar. En la Figura 8b se presentan estos resultados para los distintos momentos del día, mostrando que el calor total que ingresa al colector solar es ligeramente superior al calor

absorbido por el agua, debido a la presencia de pérdidas de calor hacia el ambiente, las cuales son más significativas en los momentos de mayor irradiancia solar.

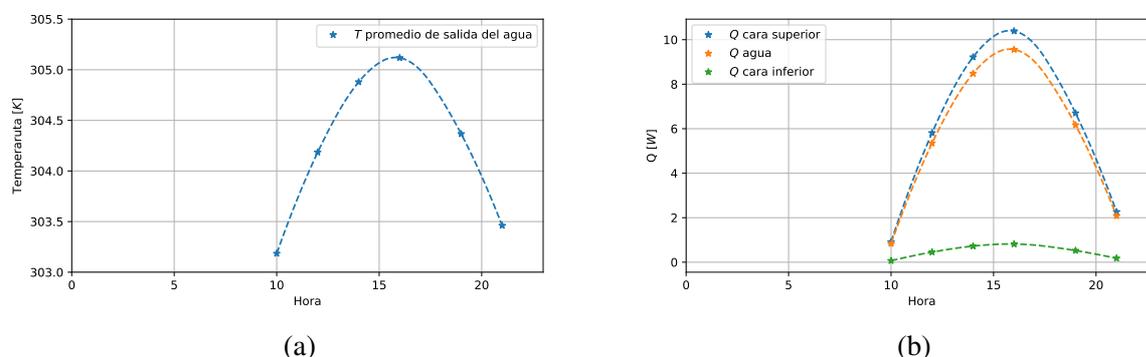


Figura 8: Resultados para distintos momento del día: (a) temperatura promedio de la salida del agua del colector solar y (b) calor total ingresado por la superficie superior, absorbido por el agua y perdido por la superficie inferior

El rendimiento porcentual del colector solar se define como la relación entre el calor absorbido por el agua y el calor que ingresa al colector por la cara superior. Se calculó el rendimiento para distintos momentos del día, observándose que se mantiene en torno al 92 %, con leves disminuciones en los momentos de menor irradiancia solar. Este análisis solo considera las pérdidas de calor hacia el medio ambiente a través de la superficie inferior; en un colector solar real, también existen pérdidas de calor por las demás superficies. Teniendo en cuenta que la pérdida de calor hacia el ambiente se rige con la ley de enfriamiento de Newton y que la temperatura promedio del entorno es constante para todas las superficies del colector, la variación entre las pérdidas originadas por las distintas superficies del colector dependerá principalmente del coeficiente de convección, el cual varía según diversos factores, como la velocidad del fluido ambiente y la configuración geométrica de la superficie. Además, el área de la superficie es relevante, ya que la pérdida de calor total será proporcional al área de pérdida. En base a esto, es probable que las paredes laterales del colector pierdan menos calor que la pared inferior del mismo.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizaron las herramientas de CFD para estudiar el funcionamiento de los colectores solares. La utilización de geometrías simplificadas que mantienen la misma dinámica física que el equipo real, permitió disminuir considerablemente los tiempos de cómputo y realizar múltiples simulaciones para estudiar distintos aspectos de los colectores solares. Se lograron acoplar correctamente las condiciones referidas a la transferencia de calor por radiación entre distintas regiones, poniendo de manifiesto la importancia de incluir un modelo para la radiación en las simulaciones de estos equipos.

Si bien los resultados obtenidos no son extrapolables proporcionalmente desde el colector de 0,1 m de largo al colector solar real de 1 m sobre el cual se realizarán los ensayos experimentales, los mismos representan correctamente la dinámica física del equipo en estudio y permiten predecir las temperaturas, flujos de calor, pérdidas y rendimientos esperables a la hora de realizar los experimentos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos reconocer el apoyo de ASACTEI a través del proyecto PEIC I+D 2022-139, que fue la principal vía de financiamiento de este proyecto, junto con la UNR por medio del proyecto 80020220600038UR.

REFERENCIAS

- Badiei Z., Eslami M., y Jafarpur K. Performance improvements in solar flat plate collectors by integrating with phase change materials and fins: A cfd modeling. *Energy*, 192:116719, 2020.
- Catalano J.C., Carbone M.C.C., Piña A.J.S., Godino D., Pairetti C.I., y Venier C.M. Simulación computacional de fenómenos de convección natural y radiación en cavidades cerradas. *Mecánica Computacional*, 40(38):1399–1408, 2023.
- Fan J., Shah L.J., y Furbo S. Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips. *Solar energy*, 81(12):1501–1511, 2007.
- Gertzos K. y Caouris Y. Optimal arrangement of structural and functional parts in a flat plate integrated collector storage solar water heater (icsswh). *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(5):1105–1117, 2008.
- Gertzos K., Caouris Y., y Panidis T. Optimal design and placement of serpentine heat exchangers for indirect heat withdrawal, inside flat plate integrated collector storage solar water heaters (icsswh). *Renewable energy*, 35(8):1741–1750, 2010.
- Gertzos K., Pnevmatikakis S., y Caouris Y. Experimental and numerical study of heat transfer phenomena, inside a flat-plate integrated collector storage solar water heater (icsswh), with indirect heat withdrawal. *Energy Conversion and Management*, 49(11):3104–3115, 2008.
- Gunjo D.G., Mahanta P., y Robi P. Cfd and experimental investigation of flat plate solar water heating system under steady state condition. *Renewable energy*, 106:24–36, 2017.
- Hamed M., Fallah A., y Brahim A.B. Numerical analysis of an integrated storage solar heater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(13):8721–8732, 2017.
- Hottel H.C. y Whillier A. *Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy*, capítulo “Evaluation of Flat-Plate Collector Performance.”, página 74. (E. F. Carpenter, ed.), Vol. 2, P. I, University of Arizona Press, Tucson, 1958.
- Howell John R., Siegel R., y Mengüç Pinar M. *Thermal Radiation Heat Transfer*. Taylor & Francis, 2010.
- Modest Michael F. *Radiative Heat Transfer*. Academic Press, London, 2003.
- Selmi M., Al-Khawaja M.J., y Marafia A. Validation of cfd simulation for flat plate solar energy collector. *Renewable energy*, 33(3):383–387, 2008.
- Tagliafico L.A., Scarpa F., y De Rosa M. Dynamic thermal models and cfd analysis for flat-plate thermal solar collectors—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30:526–537, 2014.
- Turgut O. y Onur N. Three dimensional numerical and experimental study of forced convection heat transfer on solar collector surface. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(3):274–279, 2009.
- Whillier A. *Solar energy collection and its utilization for house heating*. Tesis de Doctorado, Massachusetts Institute of Technology, 1953.