

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UN CALENTADOR SOLAR MEDIANTE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

Rodarte de la Fuente, Laura Selene (1), Alfaro Ayala, Jorge Arturo (2)

¹ [Licenciatura de Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [laurodarte@hotmail.com]

² [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [ja.alfaroayala@ugto.mx]

Resumen

En el presente trabajo se demuestra de manera computacional en un software especial, el estudio experimental de cómo es la eficiencia de un calentador solar de aire convencional y cómo esta puede ser mejorada. Se analiza el uso de un material de cambio de fase que en este caso es la parafina y cómo es que mejora la retención de calor del aire en temperaturas bajas compitiendo con los calentadores convencionales. Se ha demostrado que la parafina es uno de los materiales con cambio de fase más utilizados y de mejor eficiencia.

Abstract

In the present work we demonstrate in a computational way in special software, the experimental study of how the efficiency of a conventional solar air heater is and how it can be improved. The use of a phase change material which in this case is paraffin is discussed and how it improves the heat retention of air at low temperatures competing with conventional heaters. Paraffin has been shown to be one of the most widely used and most efficient phase change materials.

Palabras Clave

PCM 1; Material de Cambio de Fase 2; Parafina 3; Calentador Solar de Aire 4; Temperatura 5.

INTRODUCCIÓN

Marco Teórico

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio. La energía radiante procedente del Sol, proporciona excedentes de calor que superan con creces el suministro actual de energía. La Tierra recibe del Sol anualmente alrededor de $5,4 \times 10^{24}$ J, lo que supone 4.500 veces el consumo mundial de energía. Entre los beneficios de la energía solar, se encuentran: ser una energía renovable, gratuita e inagotable. Podemos diferenciar básicamente dos formas de aprovechamiento de la energía solar: térmica y fotovoltaica. La energía solar térmica designa todas las tecnologías que, utilizando como fuente la radiación del Sol, transforman su energía en energía utilizable para satisfacer directamente cualquier necesidad calorífica [1].

- *Materiales con cambio de fase (PCM).*

Los materiales con cambio de fase (PCMs) poseen la capacidad de almacenar calor, alto calor de fusión y punto de transición de fase en el entorno de la temperatura de operación. El objetivo para el que son diseñados es evitar la pérdida de calor mediante la absorción o desprendimiento del mismo. La Tabla 1 nos muestra la clasificación para los tipos de PCM que existen de acuerdo a su composición [2].

Tabla 1: Clasificación de los PCM

Tipos de PCM	Composición
1. Orgánicos	Compuestos de parafina Compuestos sin parafina
2. Inorgánicos	Sales hidratadas Metálicos
3. Eutécticos	Orgánico-Orgánico Orgánico-Inorgánico Inorgánico-Inorgánico

A continuación, se presenta el análisis CFD de la comparación experimental de retención térmica de un colector solar de aire convencional con un colector solar de aire que utiliza un material de cambio de fase. Se utiliza parafina como material de cambio de fase y se monitorea durante un día observando la diferencia de retención de calor entre cada uno de los colectores y la disipación de calor en la noche donde el proceso de calentamiento termina.

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo al artículo “Solar air heater with phase change material: An energy analysis and a comparative study” [3], el uso de un material de cambio de fase en un colector solar, como la parafina, retiene mejor el calor en la noche, que es cuando ya no se tiene radiación solar, a diferencia de un colector solar convencional. La Imagen 1 muestra dos colectores de aire similares, el colector solar de aire con PCM y el colector solar de aire convencional usados en el artículo [3].

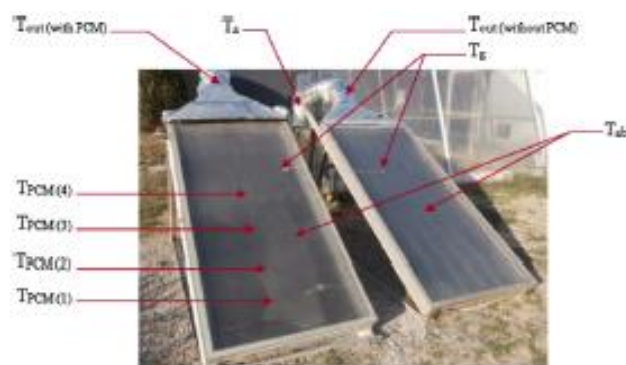


IMAGEN 1: Colector solar de aire con PCM de lado izquierdo y colector solar de aire convencional de lado derecho [3].

La geometría computacional se basó en las medidas que se presentan en el artículo [3]. Son dos colectores de aire con dimensiones similares. El colector solar de aire convencional consiste en una sección de aislante y una capa de vidrio. El colector tiene dimensión de $2.04\text{m} \times 1.04\text{m} \times 0.16\text{m}$. La cubierta de vidrio tiene un espesor de 0.004 m y esta se encuentra a 0.04 m entre el absorbedor. La placa de aluminio revestida de

negro de espesor 0.001m como placa absorbente. El fondo del colector solar de aire y los lados laterales fueron aislados con una capa de 0.05 m de poliuretano, con una conductividad térmica de 0.028 W / m K. El colector con PCM consiste en una sección aislante, una de almacenaje de PCM y una cubierta de vidrio. La longitud, el ancho y el volumen total del colector son 2.04 m, 1.04 m y 0.33 m³, respectivamente. Se utilizó un flujo de 0.018 kg/s de aire para los dos colectores. Los dos colectores tienen una inclinación de 37° hacia el plano horizontal y orientados al sur. La Imagen 2 muestra las dimensiones del colector solar con PCM [3].

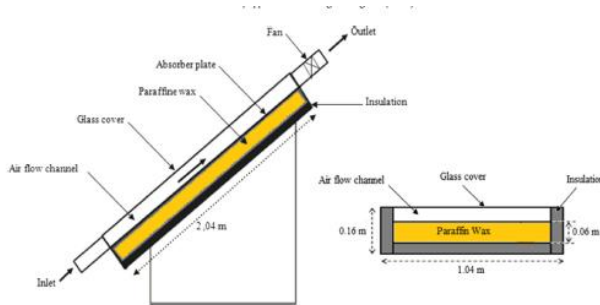


Fig. 3. Schematic section and dimensions of SAH with PCM.

IMAGEN 2: Dimensiones del colector solar de aire con PCM [3].

Utilizando esas dimensiones el diseño computacional de manera lateral se muestra en la Imagen 3 y la Imagen 4 muestra el frente del colector solar.

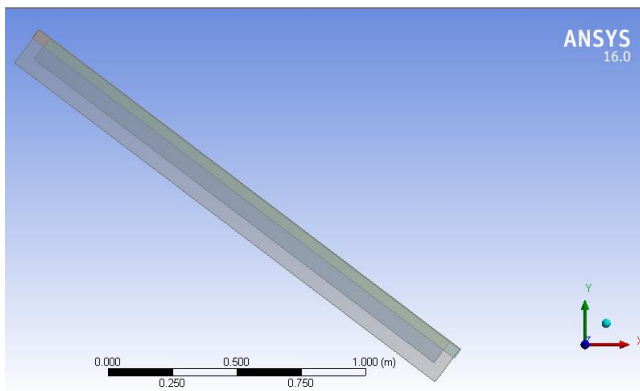


IMAGEN 3: Geometría computacional lateral del colector solar de aire.

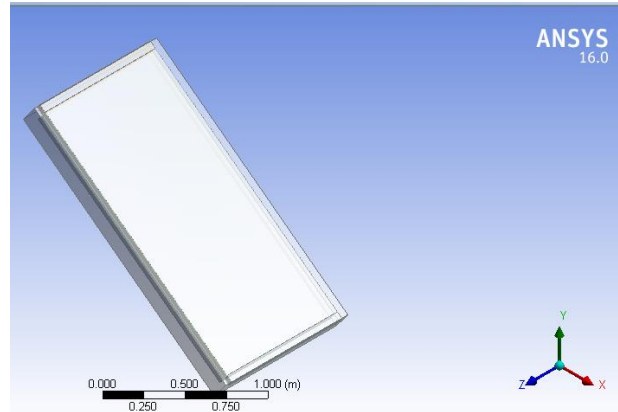


IMAGEN 4: Geometría computacional frontal del colector solar de aire.

Las propiedades de la parafina utilizada se presentan en la Tabla 2 [3].

Tabla 2: Propiedades de la parafina

Propiedades	
1. Densidad	775 kg/m ³
2. Calor específico	3890 J/Kg K
3. Conductividad térmica	0.21 W/m K
4. Viscosidad	53 mPa *seg
5. Temperatura de Fusión	337.15 K

- *Cálculo del calor.*

Para llevar a cabo la simulación es necesario el cálculo del calor del aire que recibe el colector. La temperatura de entrada del aire en el colector convencional es de aproximadamente 36°C y de salida aproximadamente 65°C y en el colector con PCM es de aproximadamente 37°C de entrada y 71°C de salida, el área de captación solar para los dos colectores es de 2.1216 m². La Ecuación (1) nos permite calcular el calor necesario del aire y la Ecuación (2) el flujo de calor.

$$Q = mC_p \Delta T \quad (1)$$

$$q = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Donde:

$$M = 0.018 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 1006 \text{ J/Kg K}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados del cálculo del flujo de calor en la Tabla 3.

Tabla 3: Flujo de calor para el colector solar convencional y el colector solar con PCM

Calentador	Flujo de calor W/m ²
1. Sin PCM	285
2. Con PCM	245

Estos flujos de calor se introdujeron a la simulación computacional como condición de frontera para obtener la temperatura de salida de los dos colectores. La Imagen 5 muestra la gráfica de la temperatura máxima del aire contra el tiempo, del colector solar con PCM en las primeras 12 horas (calentamiento mediante radiación solar), la Imagen 6 muestra el descenso de la temperatura del aire en las siguientes 12 horas en el colector con PCM (sin radiación solar, durante la noche).

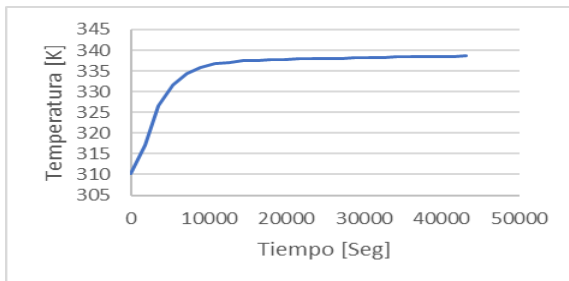


IMAGEN 5: Temperatura máxima del aire en el colector con PCM.

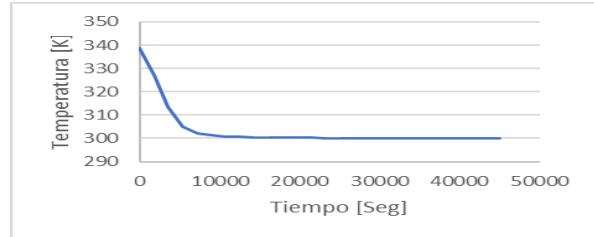


IMAGEN 6: Descenso de la temperatura en las siguientes 12 horas en el colector con PCM.

Dando como resultado una temperatura máxima de 338.62 K y una temperatura mínima de 299.81 K. En el colector convencional se observan gráficas con la misma tendencia. La Imagen 7 muestra la temperatura en las primeras 12 horas (día) y la Imagen 8 muestra el descenso de temperatura en las siguientes 12 horas (noche).

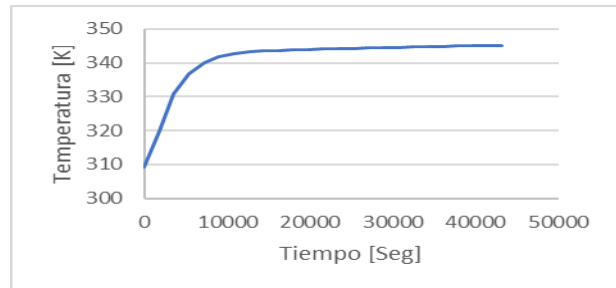


IMAGEN 7: Temperatura máxima del aire en el colector convencional.

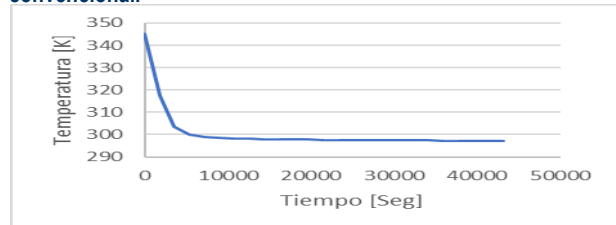


IMAGEN 8: Descenso de la temperatura en las siguientes 12 horas en el colector convencional.

Dando como resultado una temperatura máxima de 345 K y una temperatura mínima de 297.27 K. Si comparamos los resultados con los obtenidos experimentalmente podemos decir que son muy cercanos ya que la temperatura de salida del colector con PCM en las primeras 12 horas (día) es de 65 °C (338.15 K) [3] y en las siguientes 12 horas (noche), que es cuando la temperatura ambiente desciende y no se tiene presencia de radiación, es de 34 °C (307.15 K) [3], mientras que de manera computacional se obtuvo una temperatura máxima de 65.45°C (338.62 K) y una temperatura mínima de 26.66°C (299.81 K). El porcentaje de diferencia del 0.69% entre la

temperatura de salida experimental con la temperatura computacional en las horas de radiación solar en el colector con PCM y un porcentaje de diferencia del 21.58%, entre la temperatura de salida experimental con la temperatura computacional en las horas sin radiación solar en el colector con PCM. En el colector convencional la temperatura máxima obtenida experimentalmente en las primeras 12 horas (día) es de 71 °C (344.15 K) [3] y en las siguientes 12 horas (noche), la temperatura decrece llegando a los 28 °C (301.15 K) [3]. De manera computacional se obtuvo una temperatura máxima de 72.04 °C (345.19 K) y una temperatura mínima de 24.12 °C (291.27 K). El porcentaje de diferencia entre la temperatura de salida experimental y la temperatura computacional en las primeras 12 horas (día) en el colector convencional es de 1.47% y el porcentaje de diferencia entre la temperatura de salida experimental y la temperatura computacional en las siguientes 12 horas (noche) en el colector convencional es de 13.87%. La Imagen 9 muestra el contorno de temperatura del colector con PCM en las primeras 12 horas (día), la Imagen 10 muestra el contorno de temperatura del colector con PCM en las siguientes 12 horas (noche) y la Imagen 11 la caída de presión en el ducto de aire.

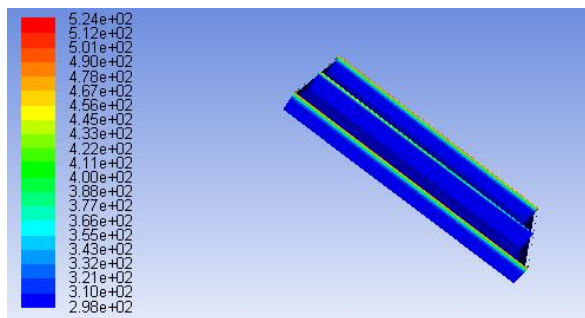


IMAGEN 9: Contorno de temperatura del colector con PCM en las primeras 12 horas (día).

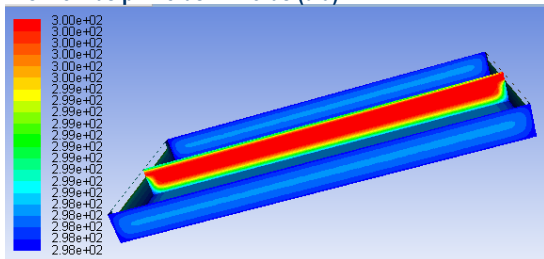


IMAGEN 10: Contorno de temperatura del colector con PCM en las siguientes 12 horas (noche).

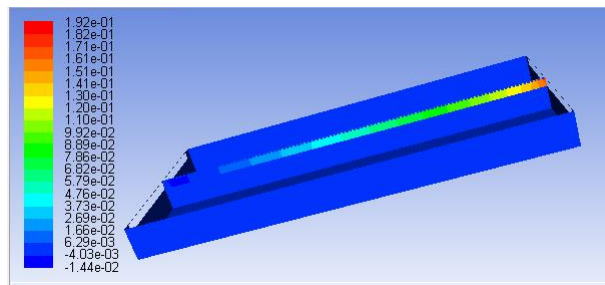


IMAGEN 11: Contorno de temperatura del colector con PCM en las siguientes 12 horas (noche).

CONCLUSIONES

La simulación computacional comprobó de manera efectiva una mayor retención de calor para el colector de aire con PCM que para el colector convencional durante la noche, la variación de los porcentajes de diferencia es por el cambio de temperaturas en el clima durante el experimento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y a mis hermanos por apoyarme y creer en mí, a mi tutor el Dr. Alfaro y a M.I.Q Oscar que me apoyaron todos los días durante mi VeranoUG y a la Universidad de Guanajuato por brindarme oportunidades para mi desarrollo profesional.

REFERENCIAS

- [1] Romero Tous, M. (2009). Energía Solar Térmica (pp 13-14). Barcelona: Ceac.
- [2] Juárez Varón, D., Ferrándiz Bou, S. & Balart Gimeno R. (2015). Materiales para la mejora del confort térmico. Análisis del estado del arte de elastómeros termoplásticos y mejora del confort térmico para el sector de ortopedia del pie y puericultura ligera (pp.59). Alcoy: Área de Innovación y Desarrollo, S.L.
- [3] Khadraoui, A., Bouadila, S., Kooli, S., Guizani, A. & Farhat A. (2016). Solar air heater with phase change material: An energy analysis and comparative study. Elsevier 107,1057-1064.