

Performance of Biosynthesized CuO/Water Nanofluid in Improving the heat Transfer of Flat Plate Solar Collector

Renny Nazario-Naveda¹, Jorge Jimenez-López¹, Grant Ilich Llaque-Fernandez¹

¹Universidad Privada del Norte –UPN- Perú, renny.nazario@upn.pe, N00096716@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe

Abstract– The biosynthesis of metal nanoparticles has become an attractive alternative for the manufacture of nanostructures with many applications. In this work, the use of CuO/Water nanofluids in heat transfer in a flat solar collector system will be evaluated, taking advantage of its large surface-volume ratio, its size and stability of the metal nanoparticles in suspension. CuO nanoparticles were fabricated using camu-camu alcoholic extract as a reducing agent. The biosynthesized nanoparticles were diluted in distilled water at concentrations of 2, 4, 6 and 8% v/v to obtain CuO/water nanofluids. The fabricated nanoparticles were characterized using XRD, UV-vis and DLS, while the formation of the nanofluids was evaluated by FTIR and UV-vis. On the other hand, the thermal parameters of the nanofluids were determined as well as their behavior as heat-carrying fluids. The results show an increase in the capacity to transport heat evidenced by the increase in the temperature gradient of the CuO/water nanofluids compared to water; However, saturation is observed when the content of CuO nanoparticles exceeds 4%.

Keywords– Flat plate solar collector; nanofluids; CuO/agua nanofluid, solar thermal energy; biosynthesis.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Desempeño del Nanofluido de CuO/Agua Biosintetizado para Mejorar la Transferencia de Calor de Colectores Solares de Placa Plana

Renny Nazario-Naveda¹, Jorge Jimenez-López¹, Grant Ilich Llaque-Fernandez¹

¹Universidad Privada del Norte –UPN– Perú, renny.nazario@upn.pe, N00096716@upn.pe, grant.llaque@upn.edu.pe

Resumen– La biosíntesis de nanopartículas metálicas se ha convertido en una alternativa atractiva para la fabricación de nanoestructuras con multitud de aplicaciones. En este trabajo se evaluará el uso de nanofluidos CuO/Agua en la transferencia de calor en un sistema colector solar plano, aprovechando su gran relación superficie-volumen, su tamaño y la estabilidad de las nanopartículas metálicas en suspensión. Se fabricaron nanopartículas de CuO utilizando extracto alcohólico de camu-camu como agente reductor. Las nanopartículas biosintetizadas se diluyeron en agua destilada a concentraciones de 2, 4, 6 y 8% v/v para obtener nanofluidos de CuO/agua. Las nanopartículas fabricadas se caracterizaron mediante XRD, UV-vis y DLS, mientras que la formación de nanofluidos se evaluó mediante FTIR y UV-vis. Por otro lado, se determinaron los parámetros térmicos de los nanofluidos y su comportamiento como fluidos portadores de calor. Los resultados muestran un aumento en la capacidad de transportar calor evidenciado por el aumento en el gradiente de temperatura de los nanofluidos CuO/agua en comparación con el agua; Sin embargo, se observa saturación cuando el contenido de nanopartículas de CuO supera el 4%.

Palabras clave– Colector solar de placa plana; nanofluidos; nanofluido de CuO/agua, energía solar térmica; biosíntesis.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los servicios de agua caliente y calefacción en las viviendas y edificaciones en general son necesarios para una mejor calidad de vida y confort. Existen muchas regiones en el Perú, como en los andes, en donde las temperaturas bajas se mantienen en la mayor parte del año y su población, que por lo general es de bajo recursos, no tiene acceso a estos servicios. Es en estas regiones donde la radiación solar presenta valores elevados [1], por lo que la energía solar podría aprovecharse como fuente limpia y renovable para sistemas térmicos [1,2]. Además, la energía solar, en forma de radiación solar, ha sido identificada como una fuente de energía prometedora para sustituir la dependencia de otros recursos energéticos, como los combustibles fósiles [3,4]. Son variados los dispositivos creados para el confort térmico de viviendas que aprovechan la energía solar, entre ellos tenemos: termas solares, piso radiante, muro Trombe, entre otros. Se han hecho diversos estudios para mejorar estos sistemas, en el año 2013 la Universidad Nacional del Centro del Perú, desarrolló un sistema de calefacción solar para reducir el friaje en viviendas alto andinas, estudiando su eficiencia mediante la variación

del volumen de la cámara y el área del colector-acumulador [5]. En el año 2016 la Universidad Nacional del Altiplano evaluó la eficiencia térmica de una terma solar de tubos al vacío en Puno, encontrando que esta experimenta un aumento con respecto a la eficiencia térmica de termas comunes [6]. En el año 2017 la Universidad Nacional del Altiplano propuso un diseño de un prototipo de calefacción por piso radiante utilizando materiales de cambio de fase aprovechando la energía solar térmica en la ciudad de Puno, el prototipo mostró una mayor eficiencia además de ser amigable con el medio ambiente ya que no se emplea combustibles fósiles [7]. En el 2018 la Universidad de Ingeniería y Tecnología estudió el rendimiento térmico según la orientación de un sistema de acondicionamiento solar pasivo para calefacción de viviendas altoandinas basado en el muro Trombe en la localidad de Huaraz - Perú [8].

Si bien los trabajos antes mencionados muestran cómo se consigue mejorar el rendimiento de la energía solar recolectada mediante cambios en los diseños e innovación en los materiales, estos no se preocupan de modificar las propiedades del fluido caloportador. Estos fluidos suelen ser usados en los sistemas de termofluidos para recoger y transportar la energía térmica, algunos líquidos usados son la glicerina, el etilenglicol, el agua y el aceite. Las investigaciones recientes buscan mejorar las propiedades de transferencia de calor y desarrollar fluidos con mayor conductividad térmica buscando la manera de incrementar la eficiencia de sistemas termofluidos [9]; entre ellos, el uso de nanofluidos en lugar de fluidos caloportadores convencionales. Esto consiste en agregar partículas de tamaño nanométrico de materiales altamente conductores térmicamente como carbono y/o óxidos metálicos al fluido caloportador para mejorar las propiedades térmicas del fluido. Algunas de las nanopartículas metálicas usadas son el TiO₂, ZnO, Al₂O₃ y Ag. Ref. [10] investigó las características de almacenamiento térmico de nanofluidos compuestos basados en medios de enfriamiento TiO₂/Ag; los resultados indicaron que este material tiene un enorme potencial para mejorar el rendimiento de los sistemas y ahorrar recursos protegiendo el medio ambiente. Ref. [11] estudió las propiedades térmicas de los nanofluidos híbridos TiO₂-Ag a diferentes fracciones de volumen, temperatura y tiempo de ultrasonificación, mejorando las propiedades de conductividad térmica y viscosidad dinámica en comparación con el fluido base. Ref. [12] estudió el rendimiento de la transferencia de calor en una tubería enrollada helicoidalmente utilizando tres tipos de nanofluidos

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

a base de agua (TiO_2 , ZnO y Ag); logrando aumentar el coeficiente de transferencia de calor en los 3 casos. Ref. [13] investigó la estabilidad de nanodiscos de sílice de plata en un fluido a base de glicerol para su uso como filtro óptico líquido, los cuales demostraron estabilidad espectral a altas temperaturas.

Las nanopartículas de CuO , se encuentran también en el conjunto de materiales que vienen siendo estudiados, como lo muestra Ref. [14], quien investigó el efecto de los nanofluidos de CuO y Al_2O_3 en agua como medio absorbente sobre la eficiencia de paneles solares; sus resultados muestran una eficiencia de enfriamiento tanto de CuO como de Al_2O_3 superior a la convencional. Ref. [15] evaluó el rendimiento de transferencia de calor de un colector solar de placa plana con una disposición de tubo en espiral utilizando nanofluidos de TiO_2/agua y CuO/agua como fluidos de trabajo; los resultados mostraron que el nanofluido de CuO/agua como fluido de trabajo exhibió un mayor rendimiento de transferencia de calor debido a la mayor conductividad térmica de las nanopartículas de CuO . Ref. [16] estudió el efecto del nanofluido de Cu/agua sobre la eficiencia de colectores solares de placa plana; mostrando un aumento en la eficiencia del colector cuando se aumentó la concentración de nanopartículas. Ref. [9] estudió el efecto de los nanocables de CuO sobre la conductividad térmica y la viscosidad de los nanofluidos a base de dimeticona; encontraron que la conductividad térmica de los nanofluidos aumenta con la fracción de volumen de los nanocables o nanoesferas de CuO , con una relación casi lineal. Ref. [17] investigó la mejora de la conductividad térmica del etilenglicol en presencia de óxido de cobre (CuO). Los resultados muestran que los nanofluidos de CuO con bajas concentraciones de nanopartículas tienen conductividades térmicas considerablemente más altas que los líquidos a base de etilenglicol idénticos sin nanopartículas sólidas. Ref. [18] logró mejorar la conductividad de agua mediante la adición de nanopartículas de Cu_2O . Ref. [19] investigó el rendimiento térmico en un calentador de agua solar de placa plana al añadirle nanofluido de CuO/agua ; se observó una mejora significativa en el rendimiento de la circulación por termosifón en comparación con la circulación forzada, para la baja fracción volumétrica considerada. Ref. [20] preparó nanofluidos de CuO estables y estudió la influencia de los parámetros de síntesis y las conductividades térmicas de los nanofluidos de CuO , los resultados mostraron que las conductividades térmicas de los nanofluidos de CuO aumentaron con el aumento de la carga de partículas. Ref. [21] estudió los efectos del agua y CuO/agua como refrigerantes canalizados dentro de un intercambiador de calor para aumentar el transporte de calor; encontraron que el sistema de enfriamiento secundario mediante nanofluido tiene ventajas para mejorar la transferencia de calor del caudal.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el uso de nanopartículas de CuO ha resultado eficiente en la mejora de las propiedades térmicas de los fluidos; sin embargo, para la síntesis de dichos materiales se llegan a utilizar materiales relativamente tóxicos y caros. Es difícil encontrar trabajos en

donde se use nanopartículas biosintetizadas en la preparación de nanofluidos, en este proceso se reemplazan reactivos químicos reductores por extractos obtenidos a partir de materiales orgánicos, lo que reduce su toxicidad y abarata los costos de fabricación. Es por eso que, en esta investigación, se estudió el comportamiento térmico de nanofluidos elaborados con nanopartículas biosintetizadas de CuO/agua como fluido de trabajo de un sistema de colector solar plano. Se fabricaron nanopartículas de CuO usando extracto de camu-camu como agente reductor y se preparó nanofluidos de CuO en base de agua en concentraciones de 2, 4, 6 y 8%. Las nanopartículas de CuO fueron caracterizadas mediante difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión, espectrofotometría UV-vis y dispersión dinámica de luz. El comportamiento térmico de los nanofluidos fue evaluado mediante la variación de la temperatura usando sensores térmicos y comparados con los del fluido base (agua). Se calculó mediante el modelo de Maxwell los parámetros térmicos de viscosidad, densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica como resultado de la adición de nanopartículas en el fluido base. Este trabajo pretende colaborar en la investigación de nanofluidos y comprender mejor el impacto de las nanopartículas metálicas biosintetizadas en fluidos caloportadores usados en sistemas de calefacción.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Preparación de extracto de Camu-Camu

Para la obtención del extracto del fruto de camu-camu (*Myrciaria dubia*), se recolectaron ejemplares de un mercado local de la ciudad de Trujillo, Perú. Los frutos fueron lavados con agua destilada, para luego ser triturados utilizando un mortero, separando los restos de la cáscara mediante el uso de equipos de filtración al vacío y papel de filtro Whatman No. 1. El jugo obtenido se centrifugó a 5000 rpm durante 15 min a temperatura ambiente para eliminar elementos sólidos residuales y se filtró nuevamente utilizando papel de filtro Whatman No. 42 con bomba de vacío. Finalmente, el jugo obtenido se almacenó a $4\text{ }^\circ\text{C}$ en viales de color ámbar.

B. Biosíntesis de CuO

Para el proceso de biosíntesis se siguió el proceso realizado por Ref. [22], como reactivos se usaron sulfato de cobre pentahidrato $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e hidróxido de sodio ACS obtenidos de Merck Millipore. Durante todo el experimento se utilizó agua ultrapura (Thermo Scientific, Barnstead Smart2Pure, MA, EE. UU.). Se inició con una solución de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) como precursor, preparándose 450 mL a 0.05 M, manteniéndose en agitación magnética (400 rpm) durante 10 min a temperatura ambiente. Luego, se agregaron 22.5 ml de hidróxido de sodio (NaOH) a 7.5 M, aumentando la agitación magnética a 1200 rpm. El proceso de reducción se logró agregando gota a gota 90 mL de extracto de camu-camu, manteniendo la agitación magnética y temperatura durante 10 min.

C. Nanofluidos y prototipo de sistema solar térmico

Para la preparación de los nanofluidos se usó como base agua destilada, al cual se les agregó el coloide de nanopartículas de óxido de cobre biosintetizadas en proporciones de 2, 4, 6 y 8% v/v. Las muestras se prepararon a temperatura ambiente (23°C) y agitación constante durante un tiempo de 15 minutos, estas se muestran en la Figura 1. Asimismo, se diseñó un sistema de colector solar plano para evaluar el comportamiento térmico de los nanofluidos, este consistió de un sistema de conducción aislado de agua mediante tubería de cobre de 1/4", una bomba para impulsar el fluido caloportador al circuito, el cual era transportado hacia un serpentín plano irradiado por una lámpara halógena de 1000 W para su calentamiento, luego se dirigía hacia un segundo serpentín localizado en una cámara de aire aislado a temperatura ambiente, para finalmente volver a la bomba y ser impulsada al circuito nuevamente (Figura 1.e).



Fig. 1 Nanofluidos preparados bajo diferentes concentraciones. a) 2%, b) 4%, c) 6%, d) 8% CuO/agua y e) sistema de conducción y calentamiento de fluido caloportador en el proceso de toma de datos de temperatura.

D. Métodos de Caracterización

Las nanopartículas de CuO biosintetizadas y los nanofluidos CuO/agua fueron caracterizados mediante espectrofotometría UV-vis (Shimadzu, UV 1900, Tokyo, Japan) en el rango de 350-700 nm. También, se realizó un análisis de la estructura cristalina de las nanopartículas de CuO mediante un Bruker D8 Eco Advance X-ray diffractometer con Cu-K α radiation con un paso de 0.02°. Por otro lado, el tamaño y forma de las nanopartículas fueron

evaluadas mediante transmission electron microscopy (TEM) agregando el coloide sobre carbon-coated copper grid para luego ser secado, las mediciones se realizaron en un JEOL model JEM 201,1 potenciado con una aceleración de voltage de 120 kV. Además, se realizó un análisis de dynamic light scattering (DLS) mediante un Nicomp Nano Z3000 para caracterizar la distribución de tamaño de las nanopartículas de CuO. Por otro lado, el comportamiento térmico fue evaluado mediante la medición de la temperatura, los datos fueron tomados con un sensor de temperatura Vernier y registrado en el programa Logger Pro. Se evaluaron los procesos de calentamiento y enfriamiento del agua en el sistema de conducción por 1 hora y 2 horas respectivamente. Además, la viscosidad de los nanofluidos fue determinado a diferentes temperaturas usando un viscosímetro de Ostwald. Se realizaron cálculos de los parámetros térmicos teóricos de los nanofluidos usando el modelo de Maxwell, el cual supone nanopartículas esféricas suspendidas en una matriz líquida continua [16]. Aunque el modelo no incluye el tamaño de las nanopartículas ni el espesor de la capa interfacial de las nanopartículas en el nanofluido, es un modelo simple y confiable usado por muchos investigadores, ya que los resultados se encuentran en un rango aceptable [9,22–25]. El modelo de Maxwell estima la densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica del nanofluido basándose en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) respectivamente:

$$\rho_{nf} = v\rho_s + (1 - v)\rho_w \quad (1)$$

$$\mu_{nf} = (1 + 2.5v)\mu_w \quad (2)$$

$$c_{p,nf} = \frac{v(\rho_s c_{p,s}) + (1-v)\rho_w c_{p,w}}{\rho_{nf}} \quad (3)$$

$$k_{nf} = k_w \frac{k_s + 2k_w - 2v(k_w - k_s)}{k_s + 2k_w + v(k_w - k_s)} \quad (4)$$

donde, ρ es la densidad, μ es la viscosidad, c_p es la capacidad calorífica, k es la conductividad térmica y v es la concentración de volumen; mientras que los subíndices nf representan al nanofluido, s a las nanopartículas y w al fluido básico.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación del proceso de biosíntesis de nanopartículas de CuO se muestran en las Figuras 2 y 3. Los patrones de difracción de rayos X se muestran en la Fig. 2a, y los resultados muestran su cristalinidad con ángulos de difracción notables en 37° y 39° correspondientes a la fase monoclinica de CuO, tal y como lo reportaron otros autores [14,17,26–28]. Además, el tamaño de los cristalitos basado en los picos de difracción se estimó empleando la ecuación de Scherrer; el valor calculado fue de alrededor de 16,4 nm. Las nanopartículas de CuO también fueron evaluadas mediante la

técnica de espectrofotometría UV-Vis, obteniendo la ubicación del pico del plasmón y absorbancia ubicada en 405.6 nm confirmando su formación [29]. La Figura 2b muestra los picos de absorbancia del coloide de nanopartículas de CuO obtenido por la biosíntesis.

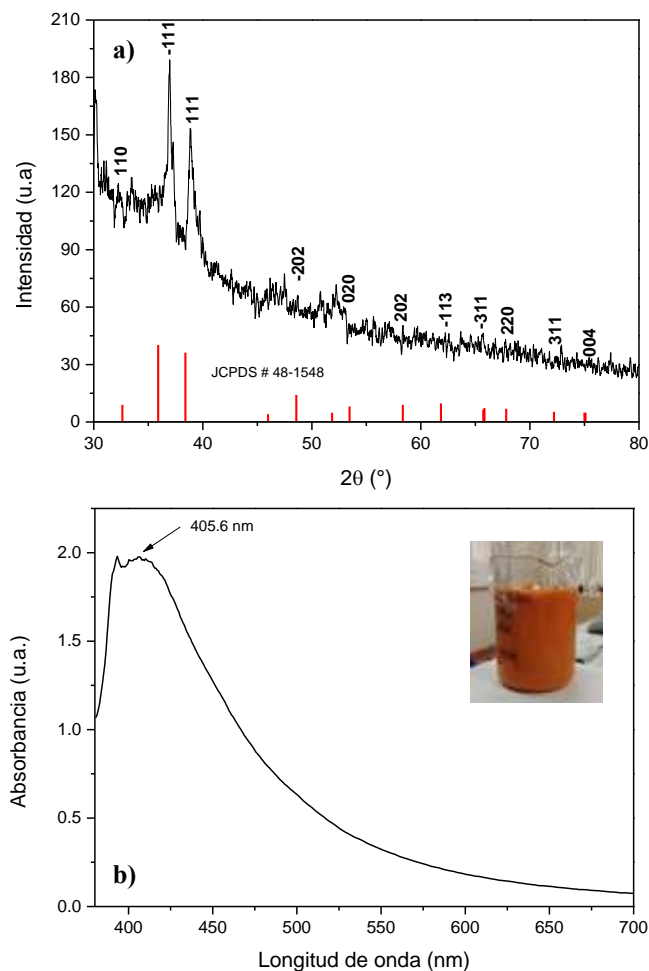


Fig. 2 a) Patrones de difracción de rayos X y b) espectros de absorción UV-vis de nanopartículas coloidales de CuO.

El análisis TEM (Figura 3a) nos brinda información sobre la forma, la distribución y también el tamaño de las nanopartículas. Se observó que las nanopartículas presentan formas irregulares y, en algunos casos, casi esféricas, con formación de aglomeraciones con un tamaño promedio de 10 - 20 nm, pequeñas y similares a lo encontrado en otras publicaciones [27–29]. Por otro lado, utilizando el método DLS, se evaluó el tamaño de las nanopartículas de CuO y la distribución de partículas. El diámetro promedio de partícula para las nanopartículas sintetizadas fue de 14.7 nm por volumen y el índice de polidispersidad fue de 0.728, como se ilustra en la Figura 3b. Se sugiere que el tamaño alcanzado se debe a la influencia del efecto taponador del extracto de camu-camu. La formación de nanopartículas se verificó inicialmente

mediante el cambio de color tras la adición del agente reductor. El proceso de reducción iónica debido a la reacción con el extracto de camu-camu es totalmente perceptible, lo que, a su vez, también se evidencia por la influencia del volumen del agente reductor.

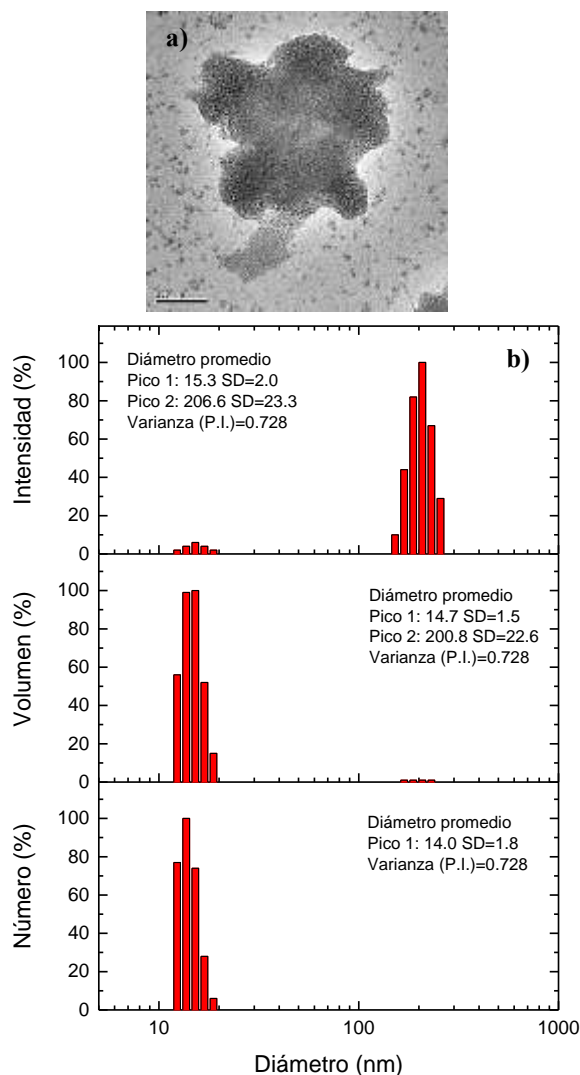


Fig. 3 a) TEM y b) Nicomp DLS de nanopartículas coloidales de CuO.

La Figura 4 muestra la caracterización de los nanofluidos de CuO/water mediante espectrofotometría UV-vis y FTIR. Estas gráficas muestran que no existe un cambio significativo con el aumento de la concentración de nanopartículas de CuO, más que la intensidad de los picos de absorbancia en las gráficas de UV-vis (Figura 3a). Por otro lado, las curvas de FTIR muestran los picos característicos del agua destilada en 3400, 1650 y 660 nm [30,31], las nanopartículas de CuO añadidas no cambian de ninguna manera la composición molecular del fluido caloportador.

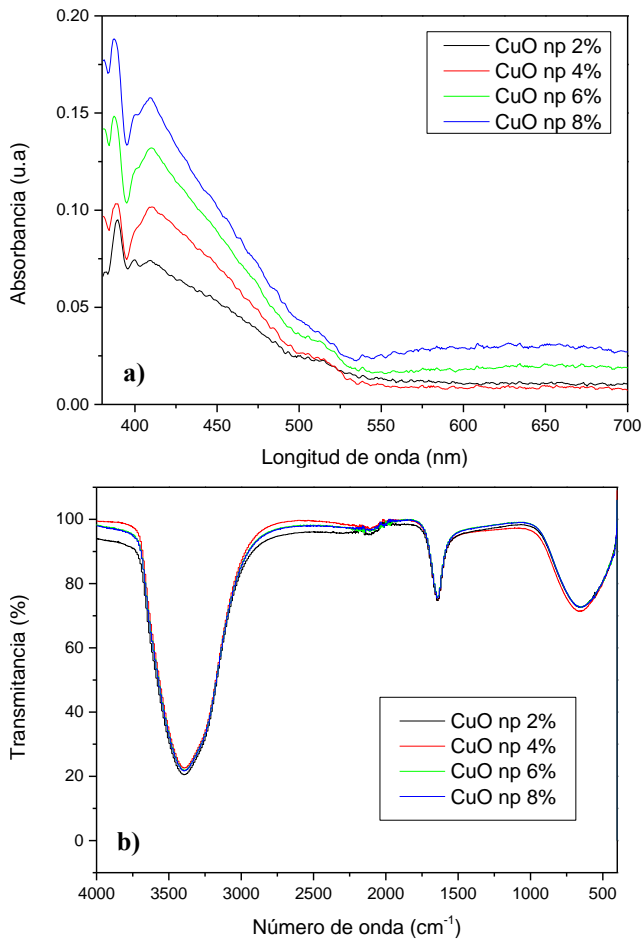


Fig. 4 Caracterización de nanofluidos de CuO/agua. a) espectrofotometría UV-vis y b) FTIR.

Las propiedades físicas del fluido base pueden cambiar con la adición de nanopartículas al fluido base. Una de estas características es la viscosidad, esta describe la resistencia interna del flujo de fluido mejorando el transporte del nanofluido en un circuito cerrado para la transferencia de calor [32]. La viscosidad es una propiedad importante para el fluido caloportador en las aplicaciones de transferencia de calor porque influye en las características de flujo y transferencia de calor [33]. En la Figura 5 se muestra la influencia de la temperatura y la concentración de nanopartículas en la viscosidad de los nanofluidos. Los resultados muestran que la viscosidad de los nanofluidos de CuO se reduce con el aumento de la temperatura. Como lo mencionan algunos autores, con el aumento de la temperatura, la viscosidad de los líquidos disminuye debido a la reducción de las fuerzas de atracción entre las moléculas [12,21,34]. Con el aumento de la temperatura, el movimiento browniano de las nanopartículas de CuO aumentará en el fluido base. El aumento de la velocidad aleatoria de las nanopartículas da como resultado una disminución de las fuerzas intermoleculares entre el fluido base y la superficie de la nanopartícula, de modo que la

viscosidad del nanofluido será menor a temperaturas más altas [9].

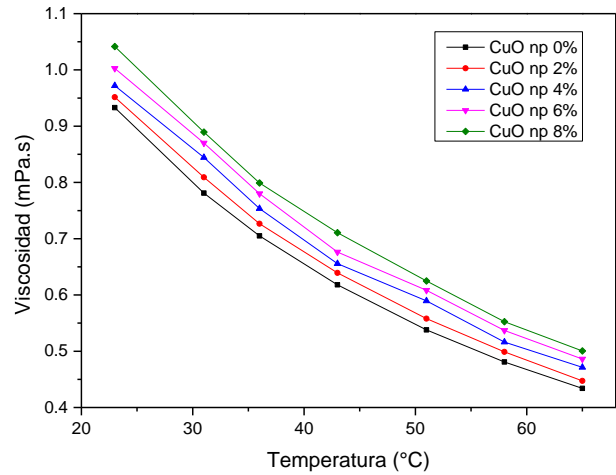


Fig. 5 Viscosidad de los nanofluidos CuO/agua.

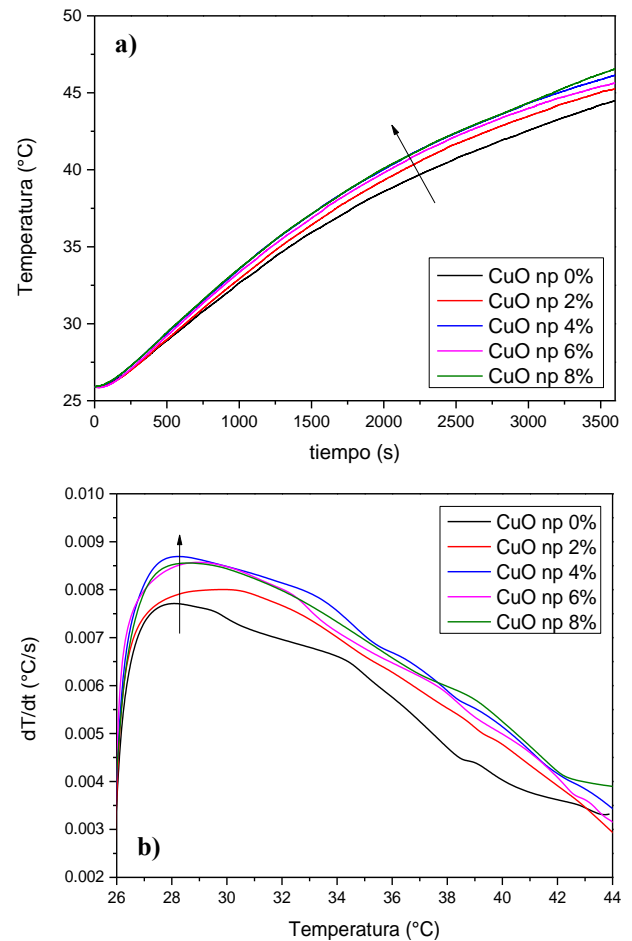


Fig. 6 Comportamiento térmico de nanofluidos CuO/agua. a) Curvas de calentamiento y b) Gradiente de temperatura

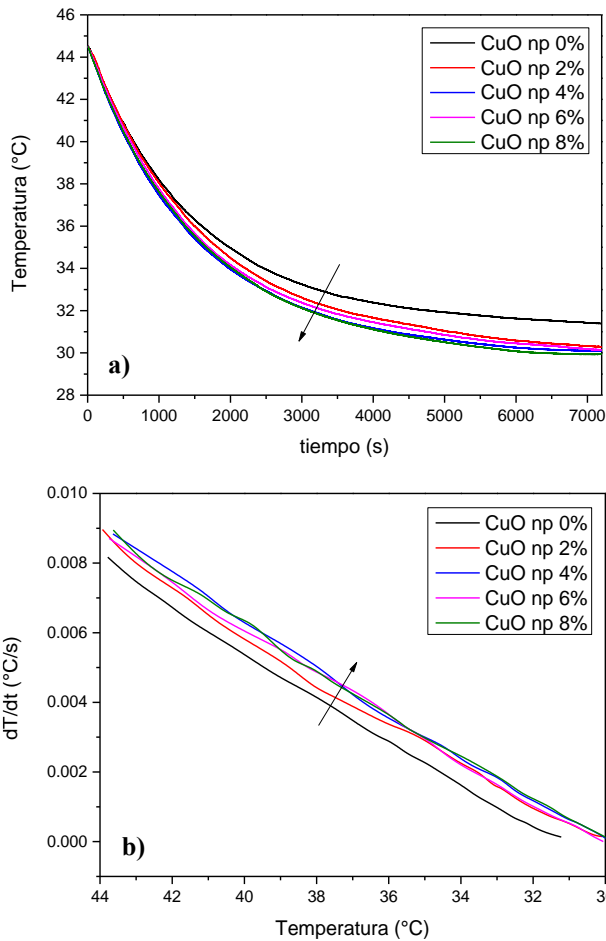


Fig. 7 Comportamiento térmico de nanofluidos CuO/agua. a) Curvas de enfriamiento y b) Gradiente de temperatura

El comportamiento térmico fue evaluado mediante la medición de la temperatura de los nanofluidos expuestas a radiación directa de una lámpara halógena, se realizaron mediciones del cambio de la temperatura en el proceso de calentamiento y enfriamiento. Estas mediciones se encuentran en las Figuras 6 y 7, en donde también se presenta el gradiente de temperatura para cada proceso. En el proceso de calentamiento, la temperatura del nanofluido es más baja en la entrada del colector, la temperatura del fluido aumenta a medida que este pasa a través del circuito debido a la transferencia de energía ganando calor. Los nanofluidos de CuO/agua, debido a su mayor conductividad térmica y tasa de transferencia de calor en comparación con el agua, alcanza una temperatura más alta en menos tiempo en comparación con el agua. Como se puede observar en la figura 6, los nanofluidos con concentraciones superiores o iguales a 4% de nanopartículas de CuO son las que más rápidamente aumentan su temperatura, este comportamiento es observado más claramente en la gráfica del gradiente de temperatura. Del mismo modo, en el proceso de enfriamiento se observa una reducción de temperatura mucha más rápida para los nanofluidos con 4 y 6% de CuO comparado con el fluido base.

La mayor velocidad en el aumento y disminución de temperatura de los nanofluidos de CuO/agua combinada provoca una diferencia en la temperatura alcanzada en el fluido que circula en el sistema [19].

Los parámetros físicos y térmicos como densidad, viscosidad, capacidad calorífica y conductividad térmica determinados con las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se muestran en la Tabla 1. Se puede observar que existe una relación inversamente proporcional entre los parámetros físicos de densidad y viscosidad con la capacidad calorífica. Para el nanofluido con 8% CuO se determinó una capacidad calorífica de 4114 J/kg.K siendo menor respecto a las otras concentraciones, eso indica que es el fluido caloportador que necesita menos calor aportado al sistema para que se puede aumentar 1°C como gradiente de temperatura. Debido a que las nanopartículas metálicas tienen una alta conductividad térmica, eso se ve reflejado en los valores obtenidos en los nanofluidos con mayor concentración de nanopartículas CuO, además del hecho de que las nanopartículas metálicas tienen una mayor capacidad de absorción en el rango visible. Esto se ve reflejado en la mayor temperatura alcanzada y el mayor gradiente de temperatura.

TABLA I
PARÁMETROS TEÓRICOS DE LOS NANOFLUIDOS CUO/AGUA CALCULADOS MEDIANTE EL MÉTODO DE MAXWELL

Concentración (%)	Densidad (kg/m ³)	Viscosidad (mPa.s)	Capacidad calorífica (J/kg.K)	Conductividad térmica (W/m.K)
0	997	0.85	4179	0.613
2	1104	0.89	4163	0.647
4	1210	0.94	4147	0.682
6	1316	0.98	4131	0.719
8	1423	1.02	4114	0.756

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se biosintetizaron exitosamente nanopartículas de CuO, las que fueron usadas para preparar nanofluidos de CuO/agua como fluido caloportador en un prototipo de sistema de colector solar plano para su evaluación térmica. Los resultados muestran un incremento en la capacidad de transportar calor evidenciado en el aumento del gradiente de temperatura de los nanofluidos de CuO/water comparado con agua; sin embargo, se observa una saturación al superar los 4% de contenido de nanopartículas de CuO. Estos resultados están acorde a los parámetros térmicos determinados, en donde la incorporación de las nanopartículas mejora la conductividad térmica y disminuye la capacidad calorífica del fluido base (agua), lo que le permite conducir y liberar el calor con mayor facilidad. El cambio de estas características convierte al nanofluido de CuO/agua como un

fluido potencial para usarse en sistemas de transporte de calor como termas solares, pisos radiantes, entre otros y su posible implementación en viviendas. Los autores creen necesario realizar a futuro un análisis económico-técnico para verificar la sostenibilidad de esta prometedora tecnología.

REFERENCIAS

- [1] L. F. Suárez Salas, J. L. Flores Rojas, A. J. Pereira Filho, and H. A. Karam, "Ultraviolet Solar Radiation in the Tropical Central Andes (12.0°S)", *Photochemical and Photobiological Sciences* vol. 16, pp. 954, 2017.
- [2] W. A. Beckman, N. Blair, and J. A. Duffie, "Solar Energy Thermal Processes, Solar Engineering of Thermal Processes", *Photovoltaics and Wind*, Fifth Edition 1, 1974.
- [3] J. Gong, C. Li, and M. R. Wasielewski, "Advances in Solar Energy Conversion", *Chem Soc Rev.*, vol. 48, pp. 1862, 2019.
- [4] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K. H. Kim, "Solar Energy: Potential and Future Prospects", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 894, 2018.
- [5] C. A. Espinoza Montes, "Sistema de Calefacción Solar Para Reducir El Friaje En Viviendas Alto Andinas", Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, Perú, 2013.
- [6] O. A. Colque Monge and A. H. Condori Alanoca, "Determinación de La Eficiencia Térmica de Una Terma Solar de Tubos al Vacío En Puno", Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2016.
- [7] F. Hanco Mamani and W. R. Berrio Huarahuara, "Diseño de Un Prototipo de Calefacción Por M2 de Superficie de Piso Radiante Utilizando PCMS Aprovechando La Energía Solar Térmica En La Ciudad de Puno", Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2017.
- [8] A. F. Flores, M. Código, A. E. Villicaña, and O. Lima -Perú, "Sistema de Acondicionamiento Solar Pasivo Para Calefacción de Viviendas Altoandinas Del Perú", Universidad de Ingeniería y Tecnología, Lima, Perú, 2018.
- [9] D. Zhu, L. Wang, W. Yu, and H. Xie, "Intriguingly High Thermal Conductivity Increment for CuO Nanowires Contained Nanofluids with Low Viscosity", *Sci Rep*, vol. 8, 2018.
- [10] W. Li, Y. Wang, and C. Zou, "Stability, Thermal Conductivity and Supercooling Behavior of Novel β -CD-TiO₂-Ag Cooling Medium-Based Nanofluids for Eco-Friendly Cold Thermal Energy Storage", *J Clean Prod*, vol. 259, pp. 121162, 2020.
- [11] W. Ji, L. Yang, Z. Chen, M. Mao, and J. nan Huang, "Experimental Studies and ANN Predictions on the Thermal Properties of TiO₂-Ag Hybrid Nanofluids: Consideration of Temperature, Particle Loading, Ultrasonication and Storage Time", *Powder Technol*, vol. 388, pp. 212-232, 2021.
- [12] O. Hozien, W. M. El-Maghlany, M. M. Sorour, and Y. S. Mohamed, "Experimental Study on Thermophysical Properties of TiO₂, ZnO and Ag Water Base Nanofluids", *J Mol Liq*, vol. 334, pp. 116128, 2021.
- [13] N. E. Hjerrild, J. A. Scott, R. Amal, and R. A. Taylor, "Exploring the Effects of Heat and UV Exposure on Glycerol-Based Ag-SiO₂ Nanofluids for PV/T Applications", *Renew Energy*, vol. 120, pp. 266, 2018.
- [14] S. Amalraj and P. A. Michael, "Synthesis and Characterization of Al₂O₃ and CuO Nanoparticles into Nanofluids for Solar Panel Applications", *Results Phys*, vol. 15, pp. 102797, 2019.
- [15] Khudhayer, W. J., Ghanbarpourasi, H., Jalel, H. T., & Al-Dayyeni, H. R. "Enhanced heat transfer performance of a flat plate solar collector using CuO/water and TiO₂/water nanofluids". *Int J Appl Eng Res*, vol. 13, pp. 3673-3682, 2018.
- [16] M. T. Jamal-Abad, A. Zamzamin, E. Imani, and M. Mansouri, "Experimental Study of the Performance of a Flat-Plate Collector Using Cu-Water Nanofluid", *J Thermophys Heat Trans*, vol. 27, pp. 756, 2013.
- [17] M. S. Liu, M. C. C. Lin, I. Te Huang, and C. C. Wang, "Enhancement of Thermal Conductivity with CuO for Nanofluids", *Chem Eng Technol*, vol. 29, pp. 72, 2006.
- [18] X. Wei, H. Zhu, T. Kong, and L. Wang, "Synthesis and Thermal Conductivity of Cu₂O Nanofluids", *Int J Heat Mass Transf*, vol. 52, pp. 4371, 2009.
- [19] J. J. Michael and S. Iniyan, "Performance of Copper Oxide/Water Nanofluid in a Flat Plate Solar Water Heater under Natural and Forced Circulations", *Energy Convers Manag*, vol. 95, pp. 160, 2015.
- [20] H. Zhu, D. Han, Z. Meng, D. Wu, and C. Zhang, "Preparation and Thermal Conductivity of CuO Nanofluid via a Wet Chemical Method", *Nanoscale Res Lett*, vol. 6, pp. 1-6, 2011.
- [21] N. A. Bin-Abdun, Z. M. Razlan, A. B. Shahrman, C. H. Voon, W. K. Wan, I. Zunaidi, M. K. Albzeirat, and M. F. H. Rani, "The Comparison between the Performance of Water and CuO/Water Nanofluid in Improving the Heat Transfer of Small Spaces", in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 429, 2018.
- [22] Asmat-Campos, D., de Oca-Vásquez, G. M., Rojas-Jaimes, J., Delfin-Narciso, D., Juárez-Cortijo, L., Nazario-Naveda, R., ... & de la Cruz, M. S. Cu₂O nanoparticles synthesized by green and chemical routes, and evaluation of their antibacterial and antifungal effect on functionalized textiles. *Biotechnology Reports*, 37, e00785, 2023.
- [23] A. A. Abbasian Arani and H. Aberoumand, "Stagnation-Point Flow of Ag-CuO/Water Hybrid Nanofluids over a Permeable Stretching/Shrinking Sheet with Temporal Stability Analysis", *Powder Technol*, vol. 380, pp. 152, 2021.
- [24] S. Z. Heris, S. G. Etamad, and M. N. Esfahany, "Convective Heat Transfer of a Cu/Water Nanofluid Flowing through a Circular Tube", *Experimental Heat Transfer*, vol. 22, pp. 217, 2009.
- [25] Y. Xuan and W. Roetzel, "Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids", *International Journal of heat and Mass transfer*, vol. 43, no 19, pp. 3701-3707, 2000.
- [26] K. Khanafer, K. Vafai, and M. Lightstone, "Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids", *Int J Heat Mass Transf*, vol. 46, pp. 3639, 2003.
- [27] H. Lv and H. Sun, "Electrospun Foamlike NiO/CuO Nanocomposites with Superior Catalytic Activity toward the Reduction of 4-Nitrophenol", *ACS Omega*, vol. 5, pp. 11324, 2020.
- [28] H. Siddiqui, M. R. Parra, M. S. Qureshi, M. M. Malik, and F. Z. Haque, "Studies of Structural, Optical, and Electrical Properties Associated with Defects in Sodium-Doped Copper Oxide (CuO/Na) Nanostructures", *J Mater Sci*, vol. 53, pp. 8826, 2018.
- [29] N. Tamaekong, C. Liewhiran, and S. Phanichphant, "Synthesis of Thermally Spherical CuO Nanoparticles", *Journal of Nanomaterials*, vol. 2014, pp. 6, 2014.
- [30] S. Dagher, Y. Haik, A. I. Ayesh, and N. Tit, "Synthesis and Optical Properties of Colloidal CuO Nanoparticles", *J Lumin*, vol. 151, pp. 149, 2014.
- [31] S. U. Ilyas, R. Pendyala, and N. Marneni, "Stability and Agglomeration of Alumina Nanoparticles in Ethanol-Water Mixtures", *Procedia Eng*, vol. 148, pp. 290, 2016.
- [32] B. H. Patel, Extraction, "Characterization and Application of Azadirachta Indica Leaves for Development of Hygienic Lycra Filaments", *J. Int. Acad. Res. Multidiscip*, vol. 1, pp. 65-84, 2014.
- [33] M. T. Naik, G. Ranga Janardhana, K. Vijaya, K. Reddy, and B. S. Reddy, "Experimental Investigation into Rheological Property of Copper Oxide Nanoparticles Suspended in Propylene Glycol - Water Based Fluids", *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 6, pp. 29-34, 2010.
- [34] C. T. Nguyen, F. Desgranges, G. Roy, N. Galanis, T. Maré, S. Boucher, and H. Angue Mintsu, "Temperature and Particle-Size Dependent Viscosity Data for Water-Based Nanofluids - Hysteresis Phenomenon", *Int J Heat Fluid Flow*, vol. 28, pp. 1492, 2007.
- [35] H. D. Koca, S. Doganay, and A. Turgut, "Thermal Characteristics and Performance of Ag-Water Nanofluid: Application to Natural Circulation Loops", *Energy Convers Manag*, vol. 135, pp. 9-20, 2017.