

6

**MODELADO DE LA
TRANSFERENCIA
DE CALOR DEL
FLUJO DE UN
NANOFLUIDO CON
LEY DE POTENCIA
EN UNA TUBERÍA
CIRCULAR**

Modelado de la transferencia de calor del flujo de un nanofluido con ley de potencia en una tubería circular

Ojeda, J.A.^a, F. Méndez^b.

^aFacultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima, Km. 9 Ctra. Colima-Coquimatlán, 28400 Coquimatlán, Colima, México

^bDepartamento de Termodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 04510, México

Introducción

El consumo de energía de nuestra civilización ha llegado a tal punto, en que hay que desarrollar alternativas para prescindir de los combustibles fósiles, una de las fuentes de energía limpia es la energía solar, que gracias a las bondades de materiales, como los materiales semiconductores, es posible convertir la luz solar incidente en corriente eléctrica o bien calentar un fluido mediante colectores solares. En estos últimos los fluidos de trabajo, que colectan el calor, puede ser utilizado para fines domésticos o industriales, por lo que su aprovechamiento ha generado la necesidad de explorar diferentes alternativas de fluidos de trabajo para transportar mayor calor, a estos fluidos,

la ciencia los ha denominado como nanofluidos.

1. Nanofluido

Un nanofluido es un fluido con partículas de un diámetro de 1×10^{-6} metros (es decir 0.000001 metros), suspendidas en un fluido base, este tipo de fluidos presentan características físicas que permiten una mayor transferencia de calor, debido a que la presencia de las partículas modifica la conductividad térmica, densidad, calor específico y viscosidad. El fluido base generalmente es agua o etylenglycol, las partículas agregadas son generalmente de óxidos metálicos como la alumina (Al_2O_3), óxido de cobre (CuO) o nanotubos de carbono. Estos fluidos son utilizados principalmente en el enfriamiento de

sistemas electrónicos en la industria aeroespacial y automotriz (Chen & Ding, 2011; Khaleduzzaman et al., 2014; Koo & Kleinstreuer, 2005), mediante el diseño de sistemas de canales por donde fluye un nanofluido, desalojando el calor generado por el funcionamiento de dichos sistemas. Los nanofluidos no se limitan únicamente a desalojar el calor de un volumen, también son utilizados para el efectivo transporte de medicamentos en el cuerpo humano. Por su capacidad de transferencia de calor, se ha reportado que los nanofluidos se aplican a sistemas de refrigeración y sistemas de aire acondicionado (Hatami, Domairry, & Mirzababaei, 2017). En colectores solares se han aplicado los nanofluidos con la principal intención de llevar dichos dispositivos pasivos de un rango de operación de entre 20 y 80 °C a un rango de operación medio, de 50 a 200 °C. En un colector solar los procesos de transferencia de calor que se presentan son conducción, convección y radiación, de tal forma que ante el paso del fluido de trabajo, generalmente agua, dicho fluido se calienta de tal manera que puede ser utilizada para usos domésticos o industriales. En la Figura 1, se aprecia un nanofluido compuesto por agua (fluido base) y nano-tubos de carbono a un 4% de fracción volumétrica.



Figura 1. Nanofluido compuesto de agua con nanotubos de carbono

2. Fluidos no Newtonianos.

El desempeño térmico del nanofluido, es influenciado por la cantidad de nanopartículas generalmente denominado por un parámetro que es la fracción volumétrica ϕ , cuyo valor se reporta en porcentaje. Las nanopartículas al ser agregadas al fluido base, como se menciono anteriormente, modifican la viscosidad generando un comportamiento diferente del flujo de fluido como el agua.

Cuando un fluido fluye por acción de una fuerza, este se deforma, como reacción a dicha fuerza aplicada, si la relación de la fuerza con la rapidez de deformación es lineal, entonces se dice que el fluido es Newtoniano, un ejemplo de este tipo de fluido es el agua, cuya viscosidad puede considerarse como constante.

Cuando esta relación no es lineal, entonces se dice que el fluido es no-Newtoniano y un ejemplo de dichos fluidos son los geles, la sangre y la miel.

A la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos no-Newtonianos se le denomina como reología, por lo que existen diferentes modelos para describir un modelo no-Newtoniano.

Uno de los modelos mas sencillos es el de Ostwald de Waele o comúnmente llamado Ley de Potencia (Bird, Stewart, & Lightfoot, 2007), cuya descripción permite definir una viscosidad equivalente, llamada índice de consistencia. Se denomina como ley de potencia, porque el modelo contiene un parámetro n que permite describir un fluido pseudo plástico ($0 < n < 1$) describen un fluido pseudo plástico, por otro lado si n es mayor a la unidad, se describe un fluido dilatante (Bird & Hassager, 1987). Ambos fluidos no dependen del tiempo, describen el comportamiento de polímeros como el gel para el cabello (pseudo plásticos) o arena movediza (dilatante). En la Figura 2, se puede apreciar el comportamiento del esfuerzo cortante (fuerza de deformación aplicada al fluido) contra la velocidad de deformación del fluido.

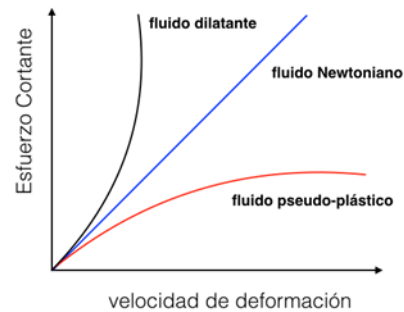


Figura 2. Esquema de comportamiento newtoniano y no-newtoniano

Dado que al agregar partículas, se modifican las propiedades térmicas del fluido, además de la viscosidad, en condiciones de transferencia de calor, una de las propiedades que permite la transferencia de calor es la conductividad térmica, que se modifica con las nanopartículas debido a cuatro efectos: el movimiento aleatorio de las partículas en el fluido (también conocido como movimiento Browniano), capa líquida en la interfase líquido-partícula, aglomeración de nanopartículas y concentración de nanopartículas en el fluido (Angayarkanni and Phillip, 2015).

A este efecto podemos agregar entonces, que sucede con un nanofluido que fluye a una velocidad u en una tubería, entonces hay dos procesos de transferencia de calor, uno por conducción de calor y otro por convección. En una simplificación del problema, podemos considerar una primera simplificación para analizar

la influencia de un nanofluido con un fluido pseudo plástico o dilatante. Considerando entonces un tubo de radio R paredes muy delgadas, con una fuente de calor constante alrededor de dicho tubo, con un flujo de un nanofluido con una velocidad U y una temperatura de entrada conocida. En la Figura 3, se representa un esquema de análisis del flujo de un nanofluido en una tubería con calor constante alrededor de sus paredes.

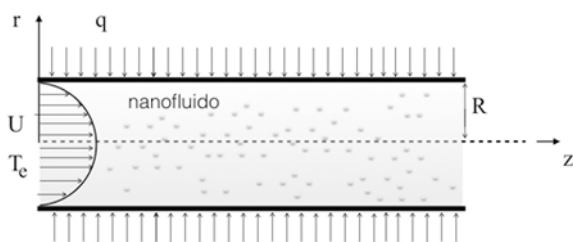


Figura 3. Esquema de análisis del flujo de un nanofluido.

El análisis de la transferencia de calor, se realiza con ecuaciones de cantidad de movimiento, es decir, todas las fuerzas involucradas en el movimiento del fluido como la presión, el perfil de velocidad, los efectos de la viscosidad, determinan el comportamiento del fluido, que junto con la ecuación de conservación de masa, es decir, que el fluido que entra al tubo, es el mismo fluido que sale del tubo y con ayuda de la ecuación de la energía, que considera el cambio de la temperatura por los diferentes mecanismos de

transferencia de energía, entonces podemos determinar el perfil térmico del fluido así como su temperatura de salida.

Este escenario es analizado bajo los siguientes aspectos:

- Influencia de la cantidad de partículas en el fluido base
- Modificación de los parámetros del modelo de ley de potencia, para obtener dos fluidos, pseudoplástico y dilatante

El análisis de este tipo de fluidos coloidales, se realiza utilizando generalmente correlaciones experimentales para diferentes fluidos base, material de nanopartícula y fracciones volumétricas. Los modelos que mas se reportan, debido a los cambios que se presentan ante la presencia de nanopartículas, son los de viscosidad y conductividad térmica (Puliti, Paolucci, & Sen, 2012), cada modelo es particular para condiciones de flujo y límites de la fracción volumétrica. Por lo anterior, es posible analizar para condiciones específicas el desempeño térmico de un nanofluido en condiciones de calor constante y flujo en una tubería.

A partir de lo anterior, entonces podemos formular la siguiente pregunta ¿cómo es la transferencia de calor a un fluido que esta cambiando su viscosidad ante

el agregado de partículas de tamaño nanométrico?

El análisis de la transferencia de calor, permite establecer criterios de análisis que permitirán determinar concentración de nanopartículas y parámetros del comportamiento del fluido no Newtoniano, para mejorar el desalojo de calor. Este problema simplificado puede extenderse a aplicaciones solares, o bien en redes de canales para el enfriamiento de volúmenes con una fuente de calor constante, que permiten definir parámetros de diseño para determinar el tamaño adecuado de dispositivos de transferencia de calor.

Conclusiones

El aprovechamiento de las propiedades de los materiales, permite generar soluciones para mejorar los procesos de transferencia de calor. El análisis de la transferencia de calor con el flujo de un nanofluido, permite generar criterios de diseño y desempeño de dispositivos de enfriamiento. De tal forma que si los nanofluidos permiten captar más calor, entonces podemos pensar en enfriar más rápidamente un volumen con una fuente de calor, o bien captar calor proveniente de la exposición solar para transferir ese calor para el calentamiento de algún otro fluido en un proceso industrial.

REFERENCIAS

Bird, R. B., & Hassager, O. (1987). *Dynamics of Polymeric Liquids: Fluid mechanics*. Wiley.

Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2007). *Transport Phenomena*. Wiley.

Chen, C.-H., & Ding, C.-Y. (2011). Study on the thermal behavior and cooling performance of a nanofluid-cooled micro-channel heat sink. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(3), 378–384. <http://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2010.04.020>

Hatami, M., Domairry, G., & Mirzababaei, S. N. (2017). Experimental investigation of preparing and using the H₂O based nanofluids in the heating process of HVAC system model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 6–11. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.104>

Khaleduzzaman, S. S., Sohel, M. R., Saidur, R., Mahbulul, I. M., Shahrul, I. M., Akash, B. A., & Selvaraj, J. (2014). Energy and exergy analysis of alumina-water nanofluid for an electronic liquid cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 118–127. <http://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.015>

Koo, J., & Kleinstreuer, C. (2005). Laminar nanofluid flow in microheat-sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(13), 2652–2661. <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.01.029>

Puliti, G., Paolucci, S., & Sen, M. (2012). Nanofluids and Their Properties. *Applied Mechanics Reviews*, 64(3), 030803. <http://doi.org/10.1115/1.4005492>

● ● Red de Energía Solar ● ●