

# Sistema automatizado para la medición de la conductividad térmica de líquidos mediante el método del alambre caliente

S. Alvarado, E. Marín\*, A.G. Juárez, y A. Calderón

*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Legaria 694, Colonia Irrigación, México D.F., 11500 México.*

R. Ivanov

*Facultad de Física, Universidad Autónoma de Zacatecas, Calz. Solidaridad Esquina Paseo de la Bufa s/n, Zacatecas, Zac., 98060, México.*

Recibido el 3 de febrero de 2011; aceptado el 5 de abril de 2011

Se presenta el montaje y puesta a punto de un sistema experimental automatizado basado en la técnica del alambre caliente, para medir la conductividad térmica de líquidos, empleando equipos de alta precisión (fuente de corriente y medidor de voltaje) que permiten prescindir de un arreglo de resistencias conocido como puente de Wheatstone, comúnmente implementado en instrumentos de este tipo. También se utiliza un criterio para verificar que se trabaja sobre la región lineal adecuada de la curva  $\Delta T$  versus  $\ln(t)$ , que es la utilizada para el procesamiento de los datos experimentales. Finalmente se valida el funcionamiento del montaje experimental mediante mediciones de conductividad térmica en líquidos de propiedades térmicas bien conocidas.

*Descriptores:* Técnica hot-wire; conductividad térmica; nanofluidos.

We present the implementation of an automated system based on the hot-wire technique for measurement of the thermal conductivity of liquids using high precision equipment (current source and voltage meter) that allow to work without an array of resistances known as a Wheatstone bridge, commonly used in such equipments. We also use a criterion to verify that we are working on the correct linear region of the curve  $\Delta T$  versus  $\ln(t)$ , which is used for experimental data processing. Finally we validate the functionality of the hot-wire experimental array by measuring the thermal conductivity in samples of liquids with well-known thermal properties.

*Keywords:* Thermal conductivity; hotwire technique; nanofluids.

PACS: 65.20.-w; 66.25.+g; 66.30.Xj; 66.30.Xj; 81.70.Pb

## 1. Introducción

Sistemas refrigerantes más eficientes son indispensables en diferentes industrias, como la electrónica y la automotriz [1], por lo que aumentar la eficiencia de la transferencia de calor es importante ya que el calor generado durante la operación de dispositivos mecánicos y electrónicos debe ser extraído eficazmente para evitar su rotura o daño permanente.

Suspensiones estables de partículas sólidas de dimensiones nanométricas en solventes apropiados, los llamados nanofluidos, han demostrado tener valores elevados de conductividad térmica,  $k$ , con respecto al fluido base, por lo cual estos compuestos representan una ruta atractiva para ser usados para lograr la disipación eficiente y efectiva del calor que se genera en diferentes sistemas. Diferentes autores han reportado incrementos significativos de la conductividad, algunos de los cuales sobrepasan lo que predicen las teorías existentes (de medios efectivos) [2-4], lo que ha motivado muchos trabajos tanto para proponer nuevos mecanismos de transferencia de calor [5], como para proponer correcciones a los modelos asociados a las variantes experimentales usadas para las mediciones [6], pasando por la propuesta de nuevas técnicas de medición [7-9]. Sin embargo se ha venido trabajando para lograr un consenso en cuanto a cuáles son las causas del mencionado aumento en la conductividad térmica, aunque recientemente un grupo internacional de autores de alrededor de 30 instituciones reportaron [10] el resultado del llamado

INPBE (*International Nanofluid Property Benchmark Exercise*), en el cual midieron ese parámetro en muestras idénticas de varios tipos de nanofluidos con diferentes técnicas, llegando a la conclusión de que los incrementos en la conductividad térmica en general coinciden con los predichos por las teorías de medios efectivos [11].

De cualquier manera, como la mayoría de los trabajos reportan la medición de la conductividad térmica de estos sistemas con la técnica del alambre o hilo caliente (HW del inglés *Hot-wire*), un primer paso en cualquier investigación enfocada en esta dirección es el diseñar, fabricar y poner a punto un sistema basado en esta técnica.

La técnica del alambre caliente consiste en mantener inmerso un alambre conductor en el líquido a investigar, y hacer pasar a través de él una corriente eléctrica constante, de manera que se caliente mediante efecto Joule. Debido a la disipación del calor generado hacia la muestra mediante conducción, la temperatura ( $T$ ) del alambre varía en el tiempo ( $t$ ) y la cinética de esta variación depende de las propiedades térmicas del líquido. La conductividad térmica se puede determinar a partir de la curva  $\Delta T$  versus  $\ln(t)$  con ayuda de una fórmula que es obtenida mediante la resolución de la ecuación de difusión de calor con las condiciones de frontera apropiadas. Debido a la complejidad del cálculo matemático y de las ecuaciones que resultan, la mayoría de los autores simplifican la solución haciendo muchas aproximaciones, en-