

**Estimación de la  
conductividad térmica  
en fluidos**

## Objetivos de la práctica

- Obtener los parámetros de calibrado de un dispositivo experimental para la determinación de conductividades térmicas.
- Determinar la conductividad térmica de un líquido y de un gas.
- Comparar los valores experimentales con los encontrados en la bibliografía.

## Fundamento teórico

El calor es una forma de energía en tránsito, debida a una diferencia de temperaturas. El intercambio de energía interna entre dos sistemas a causa de sus temperaturas constituye el llamado “flujo de calor”. El estudio de las circunstancias que lo rigen toma el nombre de “transmisión de calor” aunque, rigurosamente, la energía que se trasmite es energía interna y sólo en tránsito se la denomina “calor”.

La ley de Fourier para la conducción de calor en una sola dirección de una lámina plana puede ponerse de la forma:

$$q \left[ \frac{W}{m^2} \right] = \frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx}$$

donde **k** es la **conductividad térmica** de la sustancia a través de la que se transfiere el calor y **dT/dx** es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

La integración de esta ecuación a lo largo de una lámina plana de superficie **A** y espesor **e** a cuyos lados las temperaturas son **T<sub>c</sub>** y **T<sub>f</sub>** permite obtener:

$$Q [W] = k A \frac{T_c - T_f}{e}$$

Si se suministra un flujo de calor constante a través de una lámina de dimensiones conocidas de una sustancia determinada, podrá determinarse la conductividad térmica de dicha sustancia sin más que medir las temperaturas a ambos lados de la lámina, ya que:

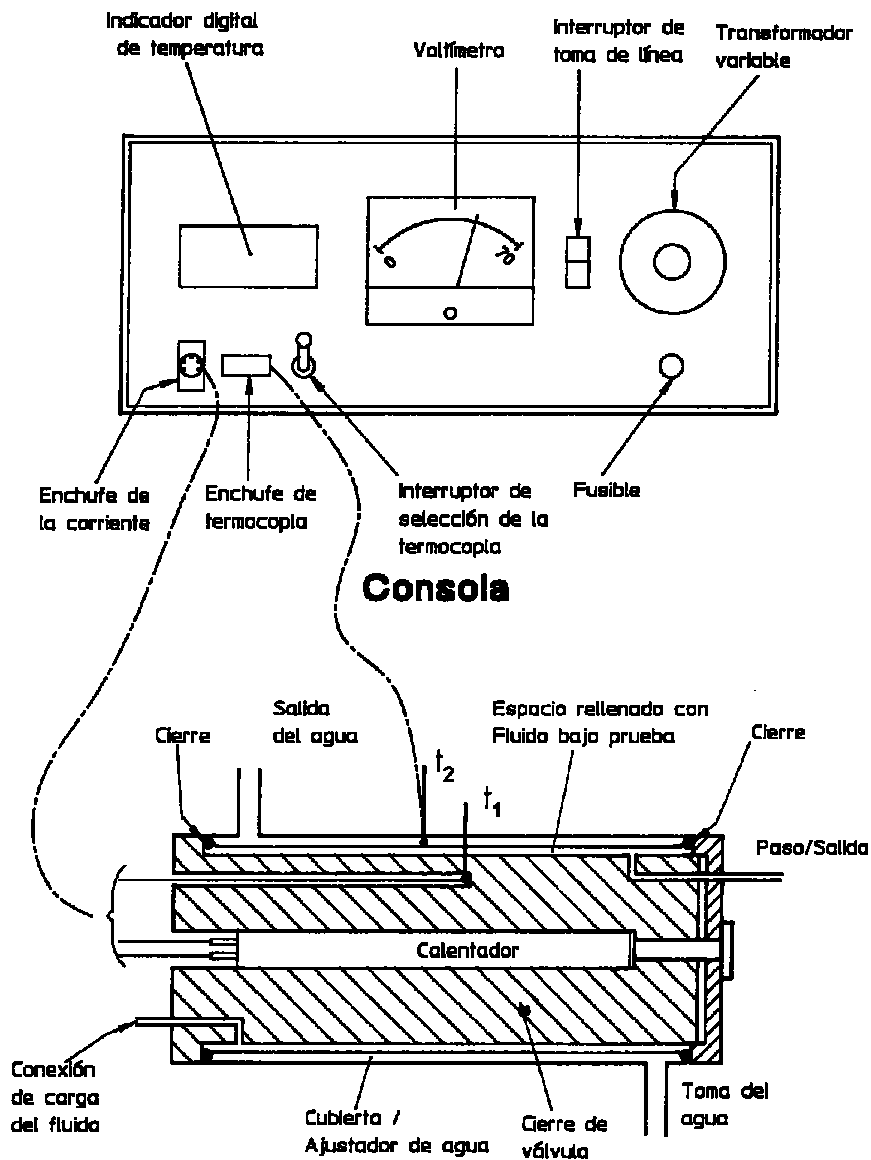
$$k \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] = \frac{Q \cdot e}{A} \frac{1}{T_c - T_f}$$

Si el flujo de calor se produce a partir de una corriente eléctrica, habrá que recordar que:

$$Q [W] = \frac{V^2}{R}$$

## Dispositivo experimental

Para estudiar la conducción de calor en fluidos se dispone de un equipo normalizado compuesto de una consola de medida y control, un módulo de experimentación, tal como se muestra en la **Figura**, y unos accesorios complementarios.



La **consola** permite suministrar la potencia necesaria al módulo de experimen-

tación a través de un conector, regulando su valor mediante un transformador variable y midiendo la tensión correspondiente mediante un voltímetro analógico. Asimismo dispone de un conmutador de selección de temperatura, de dos posiciones, y un lector digital para esta variable. El selector de temperatura permite conmutar entre los dos sensores dispuestos en el módulo experimental con objeto de realizar las lecturas correspondientes. La consola se activa mediante un interruptor de encendido.

El **módulo experimental** está formado por un núcleo cilíndrico de aluminio que contiene la unidad calefactora y una camisa refrigerante anular que lo rodea, quedando entre ambos elementos un pequeño espacio anular, en que se introduce el fluido que se desea estudiar. El núcleo se mantiene perfectamente centrado en la camisa mediante dos juntas tóricas que sellan el espacio anular y permiten un desmontaje rápido para su limpieza.

El núcleo tiene un diámetro **D = 39 mm** y una longitud **L = 110 mm** (medidas que permiten determinar la superficie de intercambio de calor). En su interior se encuentra el elemento calefactor, que tiene una resistencia **R = 56,7  $\Omega$**  (valor grabado en el cabezal del núcleo) y un alojamiento en su superficie para un termopar. Asimismo dispone de las conducciones para introducir y para purgar el fluido en estudio.

La camisa está equipada con un segundo termopar y dispone de las correspondientes entrada y salida del agua de refrigeración.

El espacio anular se forma al haber una separación entre el núcleo y la camisa de **e = 0,305 mm** (valor grabado en el cabezal del núcleo). Este pequeño valor permite que el anillo cilíndrico de fluido pueda ser considerado como una lámina plana de superficie  $\pi \cdot D \cdot L$  y espesor **e**, en la que el fluido puede permanecer completamente inmovilizado, evitándose los fenómenos de convección.

Los **accesorios complementarios** permiten realizar los experimentos de una forma más precisa. Un tubo en "U" lleno de gel de sílice con indicador de humedad (debe tener coloración azul) está situado a la entrada del módulo experimental y su misión es desecar el aire que se introduce en el módulo experimental para su calibrado. A la salida de dicho módulo se ha instalado una llave de tres vías en "T" y a continuación un frasco lavador, conteniendo agua, cuya misión es la de ejercer de cierre hidráulico cuando se opera con gases y, al mismo tiempo, permitir visualizar en forma de burbujas su flujo a través del dispositivo.

## Realización práctica

### Calibrado

Antes de utilizar el módulo experimental para determinar una conductividad térmica, es necesario proceder a su calibrado, debido a que se producen en el aparato otros tipos de transmisión de calor además de la que se va a medir (principalmente, conducción a través de los cierres, radiación desde el núcleo a la camisa y pérdidas al ambiente de la base del núcleo). Es decir, del calor proporcionado por la resistencia eléctrica,  $Q_e$ , se transferirá por conducción a través del fluido en estudio,  $Q$ , y formará parte de las mencionadas “pérdidas”,  $Q'$ , de tal forma que:

$$Q' = Q_e - Q = \frac{V^2}{R} - \frac{k A \Delta T}{e}$$

Como además el flujo de calor depende del gradiente de temperatura, habrá que determinar  $Q'$  en función de  $\Delta T = T_c - T_f$ , es decir, a distintos valores de la tensión aplicada,  $V$ . Para ello es necesario utilizar un fluido de conductividad (y su variación con la temperatura) perfectamente conocida, que normalmente es aire, cuyos valores de la conductividad se relacionan en la siguiente tabla, a distintas temperaturas:

Conductividades térmicas del aire seco, a 1 atm (Grober, H., Erk, S, Grigull, A.)	
T [°C]	k [W/(m·K)]
0	0,0243
20	0,0257
40	0,0271
60	0,0285
80	0,0299
100	0,0314
120	0,0328

Para obtener  $k$  se utilizará el valor medio de las temperaturas proporcionadas por el dispositivo experimental:

$$T = \frac{T_c + T_f}{2}$$

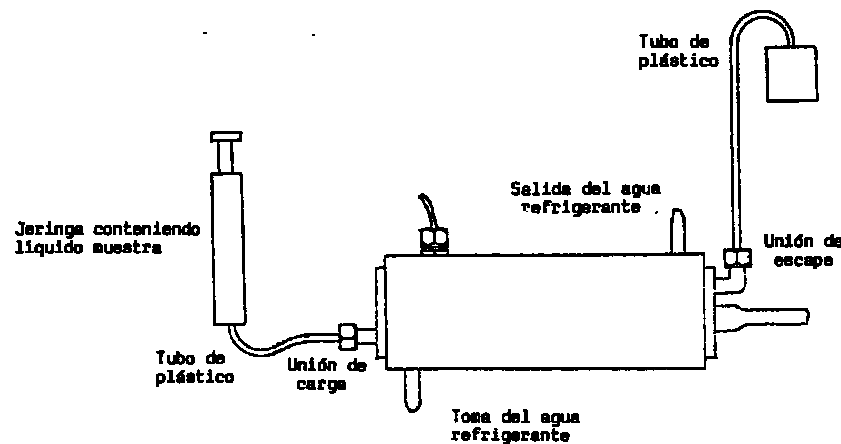
En definitiva, el calibrado se lleva a cabo realizando diferentes medidas de gradientes de temperatura a diferentes valores de la tensión aplicada (20, 30, 40 y 50 V) utilizando aire como sustancia patrón, con el fin de obtener una gráfica de calibrado  $Q' - \Delta T$ . Obtenido el calibrado se podrá conocer el valor real del calor transferido a través de la lámina de la sustancia en estudio, haciendo:

$$Q = Q_e - Q' = \frac{V^2}{R} - Q'$$

para el gradiente de temperatura medido

### Operación

Conectar el agua de refrigeración; conectar la toma de corriente a la consola.



Conectar el desecador a la entrada del módulo experimental; comprobar que la llave de tres vías está en posición de paso de la salida del módulo al frasco lavador. Conectar la jeringa de 100 cm<sup>3</sup>, llena de aire, a la entrada del desecador y cargar el espacio anular con aire, muy lentamente (comprobar la velocidad mediante la salida de burbujas en el frasco lavador). Una vez inyectado el aire contenido en la jeringa, encender la consola y establecer mediante el transformador variable una tensión de 20 V. Esperar el tiempo necesario para lograr el estado estacionario, es decir, para que las temperaturas no varíen con el tiempo (unos 15 minutos). Alcanzado dicho estado, se anotan las temperaturas medidas por los dos termopares y la lectura del voltímetro.

Realizar las medidas correspondientes al calibrado.

Apagar la consola, esperar a que se enfríe el módulo experimental, desconectar el desecador y girar la llave de tres vías de la salida del módulo hasta la posición de descarga a la atmósfera. Cargar unos 30 cm<sup>3</sup> de etanol en la jeringa de 60 cm<sup>3</sup>, vaciando el aire, y conectarla al tubo de entrada del módulo de experimentación. Inyectar el etanol, haciéndolo muy lentamente para evitar la formación de bolsas de aire en el interior del espacio anular, hasta que alcance en el tubo de salida una altura aproximada a la de la base del frasco lavador. Encender la consola, fijar una tensión de 60 V, esperar a lograr el estado estacionario y tomar las medidas correspondientes.

Purgar el etanol todo lo posible, succionando con la jeringa. Desconectar ésta del sistema y en su lugar, conectar la conducción de helio.; girar la llave de tres vías de la salida del módulo experimental hasta la posición de paso al frasco lavador. Abrir la llave de la botella de helio y hacer pasar este gas por el sistema durante unos veinte minutos, para asegurar la completa evaporación del etanol.

Una vez seco el módulo experimental, cerrar la botella de helio, bajar la tensión a 40 V, esperar a que se alcance el estado estacionario y tomar las medidas correspondientes.

Una vez tomadas todas las medidas, apagar la consola, liberar las mangueras, esperar a que se enfríe el módulo experimental, desconectar el agua de refrigeración y desconectar la toma de corriente a la consola.

## Presentación de los resultados

1. Obtener la gráfica de variación de la conductividad del aire con la temperatura y, a partir de ella, una ecuación que correlacione adecuadamente los datos.
2. Obtener la gráfica de calibrado del módulo experimental.
3. ¿Cuál es la presión del aire en el interior del sistema? ¿Por qué es necesario secar el aire?
4. ¿Cuál es la utilidad del cierre hidráulico que ejerce el frasco lavador? ¿Qué presión tiene que vencer cada uno de los gases cuando se carga con ellos el espacio anular del módulo experimental?
5. ¿Podría utilizarse agua para realizar el calibrado? ¿Se obtendría la misma gráfica que para el aire?

6. Calcular la conductividad térmica del etanol.
7. Comparar el valor obtenido para el etanol con los encontrados en la bibliografía.
8. Calcular la conductividad térmica del helio.
9. Comparar el valor obtenido para el helio con los encontrados en la bibliografía.
10. ¿Cuánto variarían los datos experimentales obtenidos si no se llevase a cabo el calibrado? ¿Qué significado tiene este hecho respecto al dispositivo experimental utilizado?

## Bibliografía

- Costa, E. y otros; "Ingeniería Química I. Conceptos generales", Ed. Alhambra, Madrid (1983).
- Costa, E. y otros; "Ingeniería Química IV. Transmisión de calor", Ed. Alhambra, Madrid (1985).
- Costa, J. y otros; "Curso de Química Técnica", Ed. Reverté, Barcelona (1988).
- Grober, H., Erik, S. y Griguld, A.; "Transmisión de calor", Ediciones Científicas, Madrid (1967).