

Una manera simple de determinar la conductividad térmica de los materiales

Agustín Ostachuk, Leonardo Di Paolo y Ulises Orlando – Termodinámica, Física I – Universidad Nacional de General San Martín – Julio 2000 - e-mail: aostachuk@hotmail.com

OBJETIVO:

Mediante el uso de un dispositivo experimental adecuado, medir la conductividad térmica de materiales utilizados para la construcción.

INTRODUCCION:

El calor puede ser transferido de un punto a otro mediante tres procesos distintos: conducción, convección y radiación. De lo que aquí se trata es medir la cantidad de calor transferida por conducción.

En la conducción el calor se transmite a través de un medio material (en este caso a través del material en estudio) y no hay transporte de materia. La velocidad a la que se transfiere el calor a través del material (dQ/dt) se representa por la letra H , y se denomina **flujo de calor**. Empíricamente se halló que el flujo de calor es proporcional al área transversal a la dirección del flujo (A), a la diferencia de temperatura a ambos lados del material (ΔT), e inversamente proporcional a la distancia recorrida desde el lugar a mayor temperatura (Δx). Es decir que:

$$H \propto \frac{A \Delta T}{\Delta x}$$

Para lograr la igualdad de la expresión anterior se agregó una constante k , que es la llamada **conductividad térmica**:

$$H = \frac{dQ}{dt} = \frac{k A \Delta T}{\Delta x}$$

La conductividad térmica expresa la capacidad de un material dado en conducir el calor, y es propia e inherente de cada material.

Para obtener el valor de la conductividad térmica lo único que nos falta es hallar una expresión que nos permita determinar el calor transferido. Como la experiencia se basa en fundir un bloque de hielo dispuesto sobre el material a estudiar (ver “Desarrollo Experimental”), entonces vamos a medir ΔQ sabiendo que se necesitan 80 calorías para fundir 1 gramo de hielo. Esto se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta Q = m L_f$$

donde m es la masa de hielo fundido y L_f es el calor de fusión, que es el calor necesario para fundir 1 gramo del material (en este caso 80 cal/g).

Entonces ya tenemos la fórmula para calcular la conductividad térmica de cualquier material:

$$K = \frac{m L_f \Delta x}{\Delta t A \Delta T} = \frac{R L_f h}{A \Delta T} \quad (R = m/\Delta t; h = \Delta x)$$

donde Δt es el tiempo que tarda en fundirse la masa m de hielo, h es el ancho del material, A es el área efectiva a través de la cual se da la transferencia de calor, y ΔT es la diferencia de temperatura a ambos lados del material.

DESARROLLO EXPERIMENTAL:

El equipo utilizado (“*Thermal Conductivity Apparatus*” de la firma *Pasco*, www.pasco.com) consta de los siguientes elementos: una base, una cámara de vapor, un generador de vapor, un molde de hielo y una serie de placas de distinto material para estudiar su conductividad térmica.

La cámara de vapor se coloca sobre la base y se conecta al generador de vapor. Sobre ella se sujeta con unas agarraderas dispuestas por encima de la cámara. La cámara tiene una abertura en la parte superior donde se coloca el material, para que la diferencia de temperatura se dé directamente a través del material. Por último, se coloca el molde de hielo destapado con la boca hacia abajo sobre el material.

Al encender el generador de vapor, el vapor circulará a través de la cámara. Se generará entonces una diferencia de temperatura de 100°C a través del material. El calor fluirá desde la región de temperatura mayor (la cámara de vapor) a la región de temperatura menor (el bloque de hielo) atravesando el material. El calor (energía térmica) transferido al hielo será utilizado para fundirlo. Entonces una buena forma de determinar el calor transferido es recolectar la masa de hielo fundido.

Una vez armado todo el dispositivo experimental, se puede comenzar la experiencia. Para ello se debe primero medir el diámetro del bloque de hielo (con el cual se determinará el área efectiva de intercambio de calor A) y el ancho del material en estudio (h). El experimento consiste simplemente en hallar el tiempo Δt en el cual se funde la masa m de hielo. Es importante no comenzar la adquisición de datos antes de que el hielo comience a fundirse. Al final de la experiencia se obtienen entonces los valores de m y Δt , y por tanto R .

La única transferencia de calor no es desde la cámara al bloque de hielo, sino que el entorno, al estar a una temperatura mayor que la del hielo, también cede calor y por tanto contribuye a la fundición del hielo. Se debe entonces descartar cualquier contribución a la fundición del hielo que no sea por transferencia de calor a través del material. Si esto no se hiciera se estaría sobreestimando la capacidad conductora de los materiales, al estar midiendo una masa de agua mayor que proviene de la cesión de calor de varios puntos del sistema. Para contrarrestar este efecto se resolvió reproducir la experiencia con cada material dos veces. Una de ellas se hizo con el generador de vapor encendido y la otra con el generador apagado. El valor de R obtenido con la experiencia realizada con el generador de vapor apagado representa la masa de hielo fundido en el tiempo Δt debido a la transferencia de calor de cualquier fuente que no sea una diferencia de temperatura de 100°C a través del material. ΔR (la diferencia entre el R con el generador prendido y el R con el generador apagado) considera sólo esta última contribución y se utiliza entonces para determinar el valor de la conductividad térmica.

Se procedió entonces a medir la conductividad térmica de tres importantes materiales: vidrio, madera y yeso.

RESULTADOS:

Material	Temperatura superior	Hielo fundido (g) (+/- 0,1)	Tiempo (minutos) (+/- 0,1)	Área (cm ²) (+/- 3)	Espesor (cm) (+/- 0,01)	R (g/min)

Vidrio	Ambiente	18,5	34	51	0,58	0,543 +/- 0,005
	100°C	80,8	10	51		7,58 +/- 0,09
Madera	Ambiente	25,1	36	48	0,69	0,698 +/- 0,005
	100°C	31	26	49		1,157 +/- 0,008
Yeso	Ambiente	21,8	35	51	0,96	0,623 +/- 0,005
	100°C	39,7	21	51		1,89 +/- 0,01

La masa de hielo fundido se recolectó en un recipiente previamente pesado, y al final de la experiencia se volvió a pesar para determinar m .

El tiempo tomado se extendió lo suficiente como para recolectar una masa apreciable de agua, y así tratar de minimizar posibles fluctuaciones en la tasa de fundición.

El área se determinó midiendo el diámetro del bloque de hielo. Se midió al comienzo y al final de la experiencia para considerar cambios en el área efectiva por la cual se produce la transferencia de calor. Se tomó como valor el promedio de las dos. A su vez para k se usa el promedio de las áreas obtenidas (a temperatura ambiente y a 100°C).

Vidrio

$$\Delta R = (7,03 \pm 0,09) \text{g/min}$$

$$k = \frac{\Delta R \cdot L_f \cdot h}{A \cdot \Delta T} = (11 \pm 1) \cdot 10^{-4} \text{ cal/seg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}$$

Madera

$$\Delta R = (0,46 \pm 0,01) \text{g/min}$$

$$k = (0,88 \pm 0,08) \cdot 10^{-4} \text{ cal/seg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}$$

Yeso

$$\Delta R = (1,27 \pm 0,02) \text{g/min}$$

$$k = (3,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} \text{ cal/seg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}$$

Tabla comparativa

Material	Valor hallado	Valores aceptados*
Vidrio	$(11 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$17,2 - 20,6 \cdot 10^{-4}$
Madera	$(0,88 \pm 0,08) \cdot 10^{-4}$	$1,13 \cdot 10^{-4}$
Yeso	$(3,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$	$10,3 \cdot 10^{-4}$

* Handbook of Chemistry and Physics, 46° Edición, The Chemical Rubber Company. (Los valores para madera y yeso varían considerablemente)

CONCLUSIONES:

Los valores de conductividad térmica obtenidos se encuentran en el orden de los valores de tabla, aunque son relativamente inferiores. Esta diferencia se adjudica al hecho de haber empezado la adquisición de datos apenas el hielo comenzó a fundir, y no haber esperado el tiempo suficiente para que alcance una tasa constante y continua de fundición, con lo cual el hielo bien podría haberse encontrado a una temperatura menor de 0°C.