

TRABAJO PRÁCTICO Nº 13

EXPANSIÓN TÉRMICA

Introducción

La mayoría de los materiales se expanden cuando se calientan a través de un rango de temperaturas que no produzca cambios de fase. El calor agregado incrementa la amplitud promedio de las vibraciones de los átomos en el material, lo que incrementa la separación media. Supóngase que un objeto de longitud  $L_0$  experimenta un incremento de temperatura  $\Delta T$ . Si  $\Delta T$  es razonablemente pequeño, el cambio en longitud  $\Delta L$ , es generalmente proporcional a  $L_0$  y  $\Delta T$ . Matemáticamente:  $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ , donde  $\alpha$  es el llamado **coeficiente de expansión lineal** del material. En materiales no isótropos  $\alpha$  depende de la dirección en que se analice.

Experiencia 13.1

Coeficiente de expansión lineal

En esta experiencia, determinará  $\alpha$  para el cobre, aluminio y acero. Estos materiales son isótropos de manera que basta medir  $\alpha$  a lo largo de una dimensión. Asimismo, dentro de los límites de esta experiencia,  $\alpha$  no cambia con la temperatura:  $\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T} = \frac{\Delta L}{L (T_f - T_i)}$  (13.1)

Trabjará con tubos de los materiales mencionados por los que hará circular una corriente de vapor de agua para calentarlos. Estudiará, por tanto, la expansión de dichos materiales entre la temperatura ambiente y el punto de ebullición del agua. El vapor se produce en una caldera eléctrica y se lleva por conductos de goma al tubo en ensayo. La Fig. 13.1 muestra el equipamiento y montaje experimental.

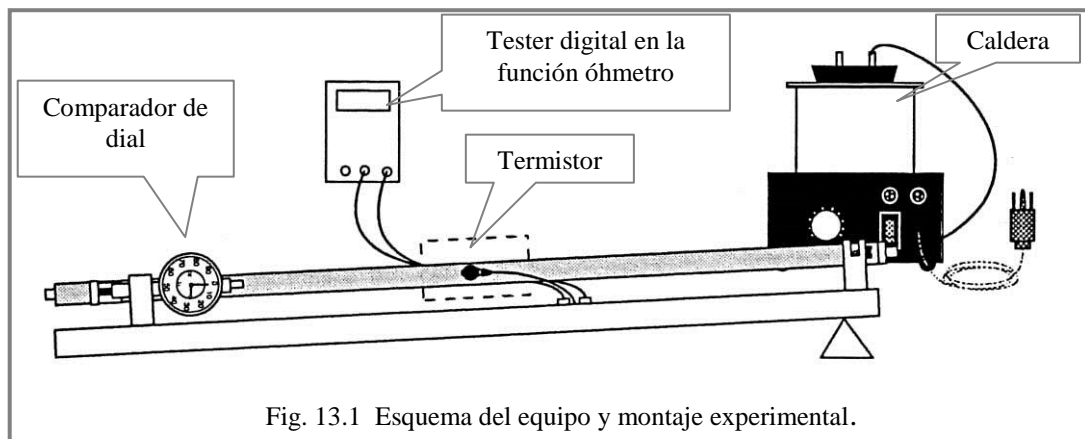


Fig. 13.1 Esquema del equipo y montaje experimental.

Los incrementos de longitud se miden con un comparador de dial de 0,01 mm de resolución. Las temperaturas del tubo se miden con un termistor que se fija firmemente al tubo por medio de un tornillo manual. El termistor es un dispositivo semiconductor cuya resistencia guarda una relación directa con su temperatura. La resistencia se mide con un óhmetro digital común.

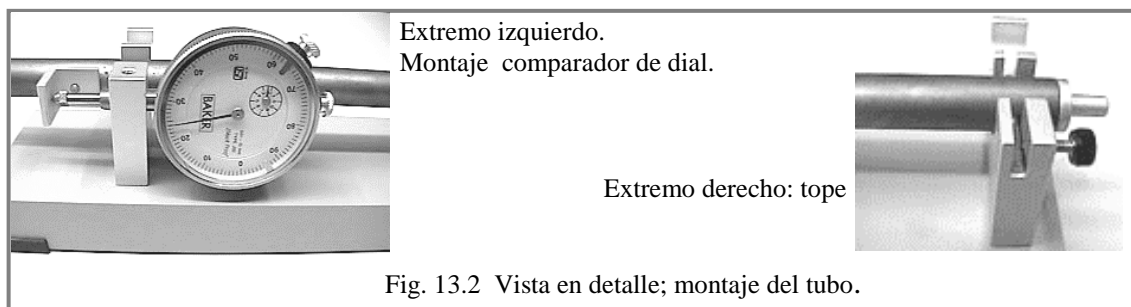
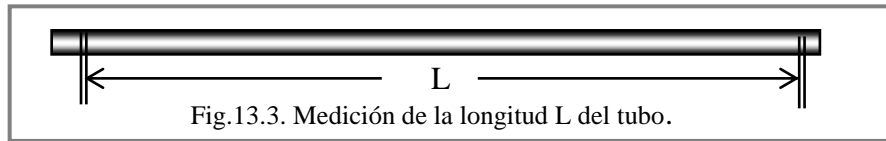


Fig. 13.2 Vista en detalle; montaje del tubo.

La longitud inicial se mide con una regla de acero milimetrada entre el pin de anclaje (borde interno) y la zapata de apoyo del comparador de dial (Figs. 13.2 y 13.3)



A continuación figura la tabla de conversión del termistor dada por el fabricante:

R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)	R (Ω)	T (°C)
351020	0	95447	26	30978	52	11625	78
332640	1	91126	27	29756	53	11223	79
315320	2	87022	28	28590	54	10837	80
298990	3	83124	29	27475	55	10467	81
283600	4	79522	30	26409	56	10110	82
269080	5	75903	31	25390	57	9762,2	83
255380	6	72560	32	24415	58	9437,7	84
242480	7	69380	33	23483	59	9120,8	85
230260	8	66356	34	22590	60	8816,0	86
218730	9	63480	35	21738	61	8522,7	87
207850	10	60743	36	20919	62	8240,6	88
197560	11	58138	37	20136	63	7969,1	89
187840	12	56658	38	19386	64	7707,7	90
178650	13	53297	39	18888	65	7456,2	91
169950	14	51048	40	17980	66	7214,0	92
161730	15	48905	41	17321	67	6980,6	93
153950	16	48863	42	16689	68	6755,9	94
146580	17	44917	43	16083	69	6539,4	95
139610	18	43062	44	15502	70	6330,8	96
133000	19	41292	45	14945	71	6129,8	97
126740	20	39605	46	14410	72	5938,1	98
120810	21	37995	47	13897	73	5749,3	99
115190	22	36458	48	13405	74	5569,3	100
109850	23	34991	49	12932	75		
104800	24	33591	50	12479	76		
100000	25	32253	51	12043	77		

**Tabla de valores medidos y calculados**

Material	Datos y cálculos							
	L <sub>0</sub> (mm)	R <sub>amb</sub> (Ω)	T <sub>amb</sub> (°C)	R <sub>cal</sub> (Ω)	T <sub>cal</sub> (°C)	ΔL (mm)	α (°C <sup>-1</sup> )	α <sub>tab</sub> (°C <sup>-1</sup> )
Aluminio								2,4.10 <sup>-5</sup>
Acero								1,2.10 <sup>-5</sup>
Cobre								1,7.10 <sup>-5</sup>

A los valores de α<sub>tab</sub>, para los diferentes materiales, adoptarlos como verdaderos y calcular los errores relativos porcentuales de las determinaciones realizadas.

## CONDUCCIÓN DEL CALOR

### Introducción

Los mecanismos de transferencia de calor son: CONDUCCIÓN  
CONVECCIÓN  
RADIACIÓN

El aparato con el que trabajaremos en este práctico nos facilitará analizar la **conducción**. Este tipo de transferencia de calor se refiere a sistemas en donde no se produce movimiento de materia; esto es válido por lo general para sólidos, aunque no se debe descartar en aquellos sistemas fluidos *que no presenten circulación de corrientes*.

En los procesos de conducción, el calor se transfiere desde el sistema con temperatura más alta al sistema de temperatura más baja. La cantidad de calor transferida, depende del medio que separa los sistemas o "medio de acoplamiento" de los sistemas y del tiempo que dura el proceso.

Las características más relevantes del medio de acoplamiento son sus dimensiones (espesor y área) y, particularmente, el tipo de material. Todo esto nos lleva a formular la ecuación que rige la conducción de calor:

$$H = \frac{k A \Delta T}{h} \quad (13.2)$$

Tenemos:

- H Cantidad de calor transferido a través del material en la unidad de tiempo  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- $\Delta T$  Diferencia de temperaturas entre los sistemas acoplados.
- A Área de transferencia de calor o área del medio de acoplamiento.
- h Espesor del medio de acoplamiento.
- k Conductividad térmica del material que constituye el medio de acoplamiento.

Los materiales con valores bajos de conductividad térmica son malos conductores del calor y, por consiguiente, buenos aislantes térmicos (por ejemplo poliestireno expandido). En cambio, los materiales con valores altos de conductividad térmica (por ejemplo los metálicos) son buenos conductores del calor, es decir buenos conductores térmicos.

### Experiencia 13.2 Conducción del Calor. Conductividad térmica.

Objetivo

Determinar la conductividad térmica de algunos materiales disponibles en placas para ensayo.

Equipamiento

Dispositivo de trabajo: aparato y accesorios, mostrados en la Fig. 13.4,

Caldera productora de vapor. Dos conductos de vapor (2 mangueras).

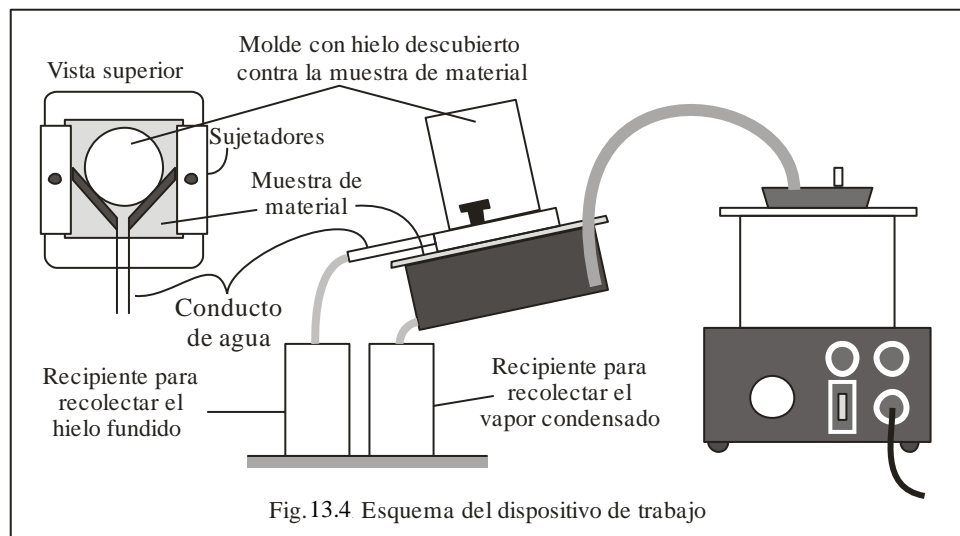
Cámara de vapor con soporte y pie.

Placas para ensayos; materiales: vidrio, madera de pino, aglomerado, yeso y lexan.

Cilindro de hielo en un molde.

Recipientes para coleccionar agua.

Balanza. Calibre y regla milimetrada.



### Procedimiento

Examinar el aparato identificando el sistema de mayor temperatura (vapor de agua existente en la cámara de vapor), del sistema de menor temperatura (hielo en fusión mantenido en un molde cilíndrico) y el medio de acoplamiento (placa del material en ensayo).

Preparar la caldera de manera que proporcione vapor de agua.

Fijar la placa a la parte de la cámara de vapor destinada para ello. Conectar, a la salida inferior de la cámara, la manguera colectora del agua de condensación.

Cuando el agua de la caldera esté por hervir, colocar el molde con hielo bajo un chorro de agua y liberar el cilindro de hielo; el hielo libre es aquel que sale del molde con facilidad (no palanquear el hielo para retirarlo del molde). Medir el diámetro del cilindro de hielo ( $D_0$ ).

En el momento en que el agua hierve el vapor comienza a salir de la caldera, en este instante conectar la cámara de vapor a la caldera utilizando una manguera.

La placa a ensayar tiene adosada en su parte superior un accesorio de neoprene, en forma de V, para coleccionar agua; este accesorio posee en su vértice una ranura por la cual debe circular el agua de la fusión del hielo. Colocar el hielo contenido en el molde sobre la muestra, cuidando que la ranura del molde coincida con la de la muestra; dejar los elementos del ensayo unos 5 minutos, con el fin de lograr estado estacionario del proceso. Mientras tanto pesar uno de los recipientes colectores, determinando la masa del recipiente seco ( $M_s$ ).

Logrado estado estacionario del proceso, colocar el recipiente seco en la salida de la ranura de la muestra, coleccionando así el agua proveniente de la fusión de hielo. En este instante se inicia medición del tiempo.

Transcurridos 10 minutos finaliza el proceso; retirar el recipiente colector de agua y el molde de hielo.

Medir el diámetro del hielo que quedó en el molde ( $D_f$ ) y pesar el recipiente con agua ( $M_a$ )

### **Cálculos y consideraciones**

Si consideramos que el agua hierve en Mendoza a  $98^\circ\text{C}$ , y que el hielo encuentra su punto de fusión a  $0^\circ\text{C}$ , podemos decir que hemos conectado térmicamente dos sistemas (vapor-hielo) de temperaturas  $T_v = 98^\circ\text{C}$  y  $T_h = 0^\circ\text{C}$ , utilizando como medio de acoplamiento la placa de material ensayada.

Como consecuencia de ello una masa de agua ( $M_a - M_s$ ) ha pasado del estado sólido al líquido, absorbiendo una determinada cantidad de calor. Este calor ha sido transferido por conducción en 10 minutos.  $\Delta t = 600 \text{ s}$

¿Cuánto calor absorbió el proceso?

Si consideramos la definición de calor latente vemos:

Para que 1 kg de agua pase de estado sólido a líquido debemos entregarle:

$$L_f = 0,335 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (13.3)$$

Obtuvimos  $M = M_a - M_s$  masa de agua. Para el cambio de estado de esta masa, la cantidad de calor necesaria es:  $\Delta Q = M L_f$ .

El área  $A$  de conducción de calor es circular; se calcula adoptando un diámetro promedio de los dos diámetros medidos del cilindro de hielo.

El valor  $h$  que aparece en la ecuación de la conducción del calor es el espesor de la placa ensayada. Determinarla usando el calibre.

Finalmente, podemos calcular la conductividad térmica  $k$  del material de la placa:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k A \Delta T}{h} \quad (13.4)$$

### Magnitudes y Unidades

Tiempo ( $t$ )	[s]
Masa ( $M$ )	[kg]
Calor ( $Q$ )	[J]
Temperatura ( $T$ )	[°C]
Área ( $A$ )	[m <sup>2</sup> ]
Espesor ( $h$ )	[m]

Confeccionar informe detallando valores medidos, valores calculados y resultado obtenido para cada uno de los materiales o placa ensayada.

## CALORIMETRÍA

### Introducción

Los calorímetros son aparatos que permiten medir energía en forma de calor y, aprovechando estas mediciones, determinar propiedades térmicas de sustancias y materiales en general.

En este trabajo usaremos el **calorímetro de mezclas**, que es el más simple y de fácil manejo; su principio de funcionamiento es el siguiente:

Cuando dos sistemas a diferente temperatura se introducen en un recinto adiabáticamente aislado, el de mayor temperatura cede cierta cantidad de calor y el de menor temperatura absorbe igual cantidad de manera que los sistemas alcanzan y quedan finalmente a la misma temperatura.

Un recinto que se aproxima al adiabático es un vaso **Dewar** o termo. En nuestro caso usaremos un vaso de telgopor (poliestireno expandido).

### Operación básica

Sistema 1: Lo constituye una masa  $M_s$  de material bajo estudio de calor específico  $C_s$ , a temperatura  $T_s$  generalmente superior a la temperatura ambiente. Inicialmente se encuentra fuera del recinto adiabático.

Sistema 2: Lo constituye una masa  $M_a$  de agua pura, de calor específico  $C_a = 4180 \text{ J/kg}$  y temperatura inicial  $T_i$  (generalmente igual o inferior a la temperatura ambiente), contenida en un recipiente denominado vaso calorimétrico.

Se introduce en el vaso calorimétrico el sistema 1 y se agita ligeramente el agua con la punta termométrica hasta que se alcanza una temperatura final estable  $T_f$ .  $T_s > T_f > T_i$ .

La disminución de temperatura que experimenta el sistema 1 significa que el mismo ha cedido una cantidad de calor:

$$Q = M_s c_s (T_s - T_f) \quad (13.5)$$

Esta misma cantidad de calor ha sido absorbida por el agua y como su temperatura se elevó a  $T_f$ , podemos expresar:

$$Q = M_a c_a (T_f - T_i) \quad (13.6)$$

Si no hubo fugas térmicas estas cantidades son iguales:

$$M_s c_s (T_s - T_f) = M_a c_a (T_f - T_i) \quad (13.7)$$

### Experiencia 13.3

#### Determinación del calor específico de algunos metales

Procedimiento:

Pesar las muestras de cobre, aluminio y plomo de masas próximas a 200 gr.

Calentar las muestras introduciéndolas suspendidas de un cordel plástico en un recipiente con agua hirviendo. Se alcanza así una temperatura  $T_s$  de alrededor de  $98^\circ\text{C}$ , que medimos con la punta termométrica de un instrumento digital.

Pesar el vaso calorimétrico limpio y seco.

Llenar aproximadamente hasta la mitad con agua pura y lo pesamos nuevamente para obtener la masa de agua incorporada por diferencia de pesadas.

Medir la temperatura del agua  $T_i$ . Conviene que sea alrededor de  $10^\circ\text{C}$  inferior a la temperatura ambiente.

Sacar la muestra del recipiente con agua hirviendo e introducirla rápidamente en el vaso. La muestra debe quedar totalmente sumergida.

Se agita suavemente con la punta termométrica controlando el calentamiento del agua. La temperatura del agua aumentará hasta alcanzar un valor máximo y empezará a decaer lentamente. Esta temperatura máxima se registra, es  $T_f$ , y será algunos grados superior a  $T_i$ .

La razón de comenzar la operación de mezcla con el agua a temperatura inferior a la del ambiente es minimizar los errores provenientes de las fugas térmicas. Si el proceso de mezcla empieza a temperatura inferior a la del ambiente y termina a temperatura superior, durante el lapso en que la temperatura del agua es inferior, entrará calor espurio desde el medio ambiente y saldrá del calorímetro hacia el ambiente durante la parte final del proceso. De esta manera las fugas tienden a cancelarse, disminuyendo el error. El calor específico del material ensayado resulta:

$$c_s = \frac{M_a c_a (T_f - T_i)}{M_s (T_s - T_f)} \quad (13.8)$$

### Experiencia 13.4

#### Determinación del calor de fusión del hielo ( $L_f$ )

Procedimiento:

El sistema 2 es una masa de agua que contiene el vaso calorimétrico hasta aproximadamente la mitad y se encuentra algunos grados por encima de la temperatura ambiente.

Determinar la masa de agua por diferencia de pesadas.

Medir la temperatura inicial del agua:  $T_i$

El sistema 1 es un trozo de hielo que agregamos al vaso.

Agregar el hielo, agitar suavemente el contenido del vaso con la punta termométrica hasta que el hielo se funda. Registrar la temperatura final. Ésta será algo inferior a la del ambiente y su evolución presentará un mínimo, que es el valor que tomaremos como temperatura final de equilibrio:  $T_f$

Determinación de la masa de hielo: realizar al final del proceso por diferencia de pesadas.

Cálculos de Balance Térmico

Calor cedido por el sistema 2:  $Q = M_a c_a (T_i - T_f) \quad (13.9)$

Calor absorbido por el sistema 1:

Para fundir el hielo (Se supone que el hielo estaba a  $0^\circ\text{C}$ ):  $Q' = M_h L_f \quad (13.10)$

Para calentar el agua de fusión:  $Q'' = M_h c_a (T_f - 0) \quad (13.11)$

Despreciando las fugas resulta:  $Q = Q' + Q'' \quad (13.12)$

Finalmente:  $L_f = \frac{M_a c_a (T_i - T_f)}{M_h} - c_a T_f \quad (13.13)$