

## Anomalía del agua

### DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA DENSIDAD MÁXIMA DEL AGUA.

- Medición de la dilatación térmica del agua en un rango de temperatura de 0°C a 15°C.
- Comprobación de la anomalía térmica.
- Determinación de la temperatura de la densidad máxima.

UE2010301

04/16 ALF

### FUNDAMENTOS GENERALES

El agua muestra una particularidad en comparación con otros elementos. Hasta una temperatura de aprox. 4°C se contrae por calentamiento y se dilata sólo en temperaturas superiores. Dado que la densidad corresponde al valor inverso del volumen de una cantidad de materia, el agua llega así a su densidad máxima aproximadamente a los 4°C.

En el experimento, se mide la dilatación del agua en un recipiente con tubo de ascenso. Se mide, además, la altura  $h$  de ascenso en función de la temperatura  $\vartheta$  del agua. Si no se tiene en cuenta que el recipiente de vidrio también se dilata con el calentamiento, el volumen total del agua en el recipiente y en el tubo de ascenso está dado por:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (1)$$

$d$ : diámetro interior del tubo ascendente,  
 $V_0$ : volumen del recipiente

Si se tiene en cuenta la dilatación del recipiente, la ecuación (1) se modifica de la siguiente manera:

$$V(\vartheta) = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (2)$$

$\alpha = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : coeficiente de dilatación lineal del vidrio

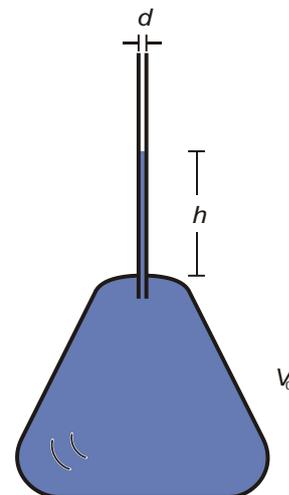


Fig. 1: Recipiente con tubo de ascenso para la medición de la dilatación térmica del agua



Fig. 2: Montaje experimental para la determinación de la densidad máxima del agua

## LISTA DE EQUIPOS

1 aparato para demostración de la anomalía del agua	1002889 (U14318)
1 agitador magnético	1002808 (U11876)
1 termómetro digital de 1 canal	1002793 (U11817)
1 sensor sumergible, tipo K	1002804 (U11854)
ó	
1 termómetro	1003013 (U16115)
1 embudo, d= 50 mm, plástico	1003568 (U8634700)
1 manguera de silicona, 6 mm	1002622 (U10146)
1 soporte, 470 mm	1002934 (U15002)
1 nuez con pinza	1002829 (U13253)
1 trípode de 150 mm	1002835 (U13270)
1 cubeta de plástico	4000036 (T52006)

Agua destilada, hielo triturado, sal de cocina

## MONTAJE

- En primer lugar, colocar las varitas de agitación en el aparato para demostración de la anomalía del agua.
- Colocar el tubo de ascenso en el recipiente de vidrio y atornillarlo bien.
- Conectar el sensor sumergible al termómetro digital, atornillar el cierre roscado GL, que tiene la perforación pequeña, en el tubo roscado lateral e introducir el sensor sumergible.
- El experimento se lo puede realizar, alternativamente, con un termómetro estándar. Para eso, se debe deslizar el cierre roscado GL, que tiene la perforación grande, sobre el termómetro y ajustarlo en el tubo roscado lateral.
- Conectar la manguera de silicona a la boquilla de conexión y acoplarla al embudo.
- Acoplar la varilla soporte sobre el trípode, ajustar al soporte la nuez con pinza.
- Colgar el embudo de la pinza.
- Para el llenado del recipiente de vidrio abrir el grifo y verter agua destilada por el embudo hasta que el nivel del agua cubra aproximadamente la mitad del tubo de ascenso.
- Eliminar las burbujas de aire agitando levemente el recipiente de vidrio.
- Cerrar el grifo, retirar la manguera y vaciar el agua sobrante del embudo en la botella de reserva.

## EJECUCIÓN

- Realizar el montaje según la Fig. 2.
- Hacer una mezcla de hielo triturado con sal de cocina y llenar con ella la cubeta de plástico.
- Colocar la cubeta sobre el agitador magnético.
- Colocar el equipo experimental en la cubeta, como se observa en la Fig. 2.
- Señalar la altura de subida del agua en el tubo de ascenso con un marcador. Anotar la altura de ascenso y la temperatura.
- Conectar el agitador magnético y hacerlo funcionar a una velocidad intermedia.
- Leer el nivel  $h$  del agua en el tubo de ascenso y transportarlo a un sistema de coordenadas en función de la temperatura  $\vartheta$  del agua.
- Tan pronto baje la temperatura a menos de 5°C, retirar el equipo experimental para evitar que el agua se congele.

## EJEMPLO DE MEDICIÓN

Tabla 1: Altura  $h$  de ascenso en función de la temperatura  $\vartheta$

$\vartheta$ (°C)	$h$ (mm)	$\vartheta$ (°C)	$h$ (mm)
0,5	32,5	8,0	22,0
1,0	23,0	8,5	27,3
1,5	16,5	9,0	32,5
2,0	10,3	9,5	36,0
2,5	7,3	10,0	42,2
3,0	5,3	10,5	47,3
3,5	3,7	11,0	54,0
4,0	3,3	11,5	62,0
4,5	4,3	12,0	67,2
5,0	6,0	12,5	76,5
5,5	7,5	13,0	86,5
6,0	10,0	13,5	94,0
6,5	12,6	14,0	104,5
7,0	14,8	14,5	116,5
7,5	19,3	15,0	125,3

## EVALUACIÓN

La Fig. 3 muestra la representación gráfica de los valores de la tabla 1. Por extrapolación se determina la altura  $h$  de ascenso del agua en el tubo para  $0^\circ\text{C}$ . Se obtiene, para los datos presentes, un valor de  $h(0^\circ\text{C}) = 44,7 \text{ mm}$ . La densidad relativa del agua se la puede calcular por medio de la ecuación (3).

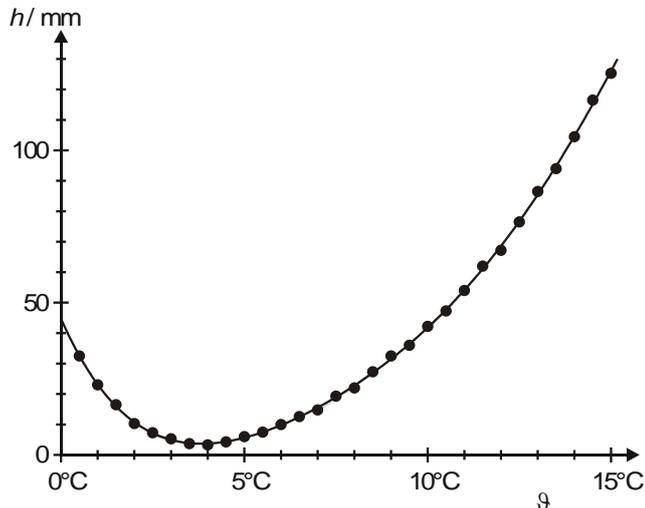


Fig. 3: Altura  $h$  de ascenso en función de la temperatura  $\vartheta$

Para la densidad  $\rho$  del agua, por lo tanto, a partir de (1) y (2), se obtiene:

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (3)$$

El máximo valor de esta relación se obtiene cuando  $\vartheta = 4^\circ\text{C}$  (compárese Fig. 4).

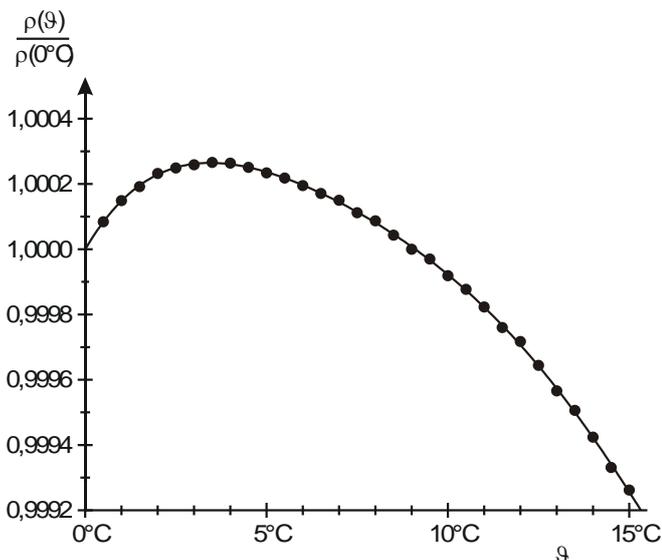


Fig. 4: Densidad relativa del agua en función de la temperatura  $\vartheta$

## RESULTADO

El volumen del agua se reduce si la temperatura aumenta de  $0^\circ\text{C}$  a  $4^\circ\text{C}$ . Sólo para temperaturas mayores el volumen del agua aumenta.

La densidad del agua alcanza su valor máximo aproximadamente a los  $4^\circ\text{C}$ .

