

Medida de la viscosidad de un líquido

Resumen

En esta práctica se calcula la viscosidad de dos líquidos (acetona y etanol). El método consiste en calcular la densidad relativa de los líquidos respecto del agua con una balanza de Mohr-Westphal y el cálculo del tiempo que tarda cada líquido (incluido el agua) en bajar por el viscosímetro de Ostwald bajo la fuerza de la gravedad, para luego poder calcular su viscosidad mediante la ley de Hagen-Poiseuille.

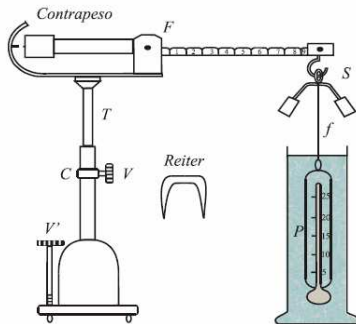
INTRODUCCIÓN

La viscosidad es la resistencia que muestra un fluido respecto a una deformación tangencial. La viscosidad se determina por la fuerza con la que una capa del fluido es capaz de arrastrar consigo a las capas adyacentes del fluido. La viscosidad depende de la temperatura, a mayor temperatura los líquidos tienen menor viscosidad y para menor temperatura tienen más viscosidad. Los fluidos fluyen con más facilidad si tienen menor viscosidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El material usado en la práctica es una balanza de Mohr-Westphal, un termómetro, un viscosímetro de Ostwald, una pipeta (2 ml), una bomba de succión manual, un cronómetro, acetona, etanol.

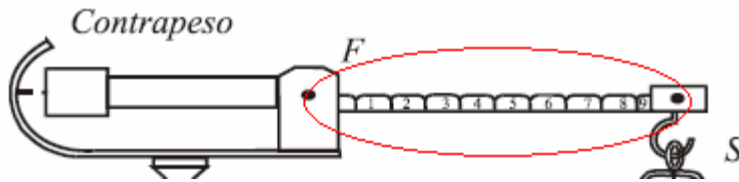
Primero se calcula la densidad relativa de la acetona i el etanol respecto al agua usando la balanza de Mohr-Westphal:



Primero se llena el recipiente de agua, y se coloca un reiter de tipo S o A en el extremo de la balanza, en caso de que la balanza no este equilibrada, se utilizan los niveladores (V y V') para ajustarla.

Una vez ajustada se sustituye el agua por el líquido (se llena hasta la misma altura que el agua, es decir el mismo volumen) del que queremos saber su densidad, entonces puede darse 2 situaciones, que la densidad del liquido sea mayor o menor que la del agua, según el principio de Arquímedes todo cuerpo sumergido en un líquido recibe una fuerza hacia arriba igual al peso del líquido desalojada, $F = \rho V g$ como en el caso del agua la balanza esta en equilibrio, la fuerza total es igual a 0, es decir $mg = \rho V g$, siendo m la masa del termómetro que esta en el extremo de la masa. Como en esta práctica m, V son constantes (aunque g también lo es, no influye en el resultado, ya que se anula), de la formula se saca, que cuando $m > \rho V$ la fuerza que ejerce la gravedad será mayor que la fuerza ejercida por el liquido y por tanto el termómetro bajara, en caso de que $m < \rho V$ la fuerza ejercida por el agua sea mayor y por tanto subirá hasta llegar al equilibrio.

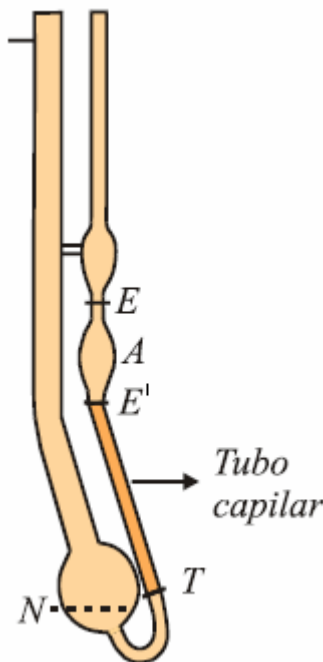
En caso de que $m < \rho V$ para hallar la densidad relativa, habrá que quitar el reiter S o A del extremo, e ir colocando los reiters para conseguir el equilibrio en alguna de las posiciones de las que dispone la balanza,



luego para saber la densidad relativa habrá que sumar el peso de cada reiter multiplicado por su posición (en el extremo 1, y en cada una de las posiciones el numero correspondiente multiplicado por 0.1).

En caso de que $m > \rho V$ para hallar la densidad relativa, se deja el reiter S o A en el extremo y se van colocando los demás reiters para encontrar el equilibrio y luego se suma de igual manera que en el caso anterior.

Para calcular la viscosidad también hace falta el tiempo que tarda el líquido en recorrer una cierta distancia y el tiempo que tarda el líquido respecto el cual se ha calcula la densidad relativa, para calcular el tiempo se utiliza un viscosímetro de Ostwald:



Se mete un líquido utilizando la probeta hasta llegar más o menos a una altura N (en el caso del laboratorio 5ml) y se coloca la bomba de succión manual en el extremo delgado del viscosímetro y se utiliza para mover el líquido hasta una altura E, entonces quita la bomba de succión y se calcula con el cronometro el tiempo que tarda el líquido en recorrer la distancia E-E\'.

Para poder usar la formula que se obtiene de la formula de Poiseuille para calcular la viscosidad: $\eta' = \eta \frac{\rho' t'}{\rho t}$ donde

$\frac{\rho'}{\rho}$ es la densidad relativa, t' es el tiempo que ha tardado el líquido del que estamos calculando la viscosidad y t es el tiempo que tardado en líquido respecto del que se ha calculado la densidad. η es la viscosidad del líquido respecto del que se calcula la densidad (en nuestro caso el agua, η se puede obtener por interpolación a partir de los

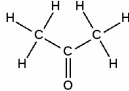

datos de alguna tabla.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La ley de Poiseuille se puede escribir: $V = \frac{\pi r^4 g h \rho}{8 L \eta} t$, con lo cual midiendo el tiempo de 2 líquidos en el viscosímetro de Ostwald se puede obtener la viscosidad porque g,h,L,r se mantienen constantes:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \frac{\pi r^4 g h \rho}{8L \eta} t \\ V = \frac{\pi r^4 g h \rho'}{8L \eta'} t' \end{array} \right. \text{igualando se obtiene } \Rightarrow \eta' = \eta \frac{\rho' t'}{\rho t}$$

RESULTADOS

$T = 24.0 \pm 0.1^\circ \text{C}$	Agua H_2O	Acetona 	Etanol 
Densidad g / cm^3	0.9973 ± 0.0002	0.69810 ± 0.0010	0.748773 ± 0.000018
Densidad relativa	1	0.7412 ± 0.001	0.7508 ± 0.0001
Viscosidad cp	0.913 ± 0.002	0.4314 ± 0.0003	1.558 ± 0.004

Cálculos:

Para hallar la densidad y viscosidad del agua se interpola linealmente la siguiente tabla:

	$T (^{\circ}\text{C})$						
	0	5	10	15	20	25	30
$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$	0.999868	0.999992	0.999727	0.999126	0.998230	0.997071	0.995673
$\eta \text{ (cp)}$	1.7865	1.5138	1.3037	1.1369	1.0019	0.8909	0.7982

Como la temperatura era 24°C se utilizo para la interpolación los datos a 20° y 25° :

Agua:

Densidad:

$$y = m(x - x_0) + y_0$$

$$m = \frac{0.997071 - 0.998230}{25 - 20} = -0.0002318$$

$$\rho_{24} = -0.0002318(24 - 20) + 0.998230 = 0.99730 \pm 0.0002 \text{ g/cm}^3$$

Viscosidad:

$$y = m_2(x - x_0) + y_0$$

$$m_2 = \frac{0.8909 - 1.0019}{25 - 20} = -0.0222$$

$$\eta_{24} = -0.0222(24 - 20) + 1.0019 = 0.913 \pm 0.002 \text{ cp}$$

$$\begin{array}{l} \text{Tiempo, } t \\ \left. \begin{array}{l} 24.53 \\ 24.28 \\ 24.50 \\ 24.41 \\ 24.62 \\ 24.50 \end{array} \right\} 24.47 \pm 0.09s \quad \sigma = \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{4} = 0.09 \end{array}$$

Como el error de dispersión (0.09) es mayor que el error del cronometro (0.01s), se utiliza como error de la medida

Acetona

$$\begin{array}{l} \text{Densidad} \\ \left. \begin{array}{l} 0.7412 \\ 0.7412 \\ \frac{\rho'}{\rho} = \frac{0.7410}{0.7413} \\ 0.7412 \\ 0.7413 \end{array} \right\} 0.7412 \pm 0.001 \quad \sigma = \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{4} = 0.000075 \end{array}$$

Como el error de dispersión (0.000075) es menor que el error de la balanza (0.001) se pone el error de la balanza.

$$\rho' = \frac{\rho'}{\rho} \rho = 0.7412 \cdot 0.99730 = 0.69810 \pm 0.00010 \text{ g/cm}^3$$

$$\sigma_{\rho'} = \sqrt{\left(\rho \sigma_{\frac{\rho'}{\rho}}\right)^2 + \left(\frac{\rho'}{\rho} \sigma_{\rho}\right)^2} = 0.00010$$

$$\sigma_r = \frac{0.00010 \cdot 100}{0.69810} = 0.014\%$$

Tiempo

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 15.37 \\ 15.87 \\ 15.53 \\ 15.56 \\ 15.56 \\ 15.66 \end{array} \right\} T = 15.60 \pm 0.13s \quad \sigma = \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{4} = 0.13 \end{array}$$

Como el error de dispersión (0.13) es mayor que el error del cronometro (0.01) s utiliza el error de dispersión como error de la medida.

Viscosidad

$$\eta_{acetona} = \eta_{agua} \frac{\rho_{acetona}}{\rho_{agua}} \frac{t_{acetona}}{t_{agua}} = 0.913 \cdot 0.7412 \frac{15.6}{24.47} = 0.4314 \pm 0.0003cp$$

$$\sigma(\eta_{acetona}) = \sqrt{\left(\frac{\rho_{acetona}}{\rho_{agua}} \frac{t_{acetona}}{t_{agua}} \sigma(\eta_{agua})\right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{1}{\rho_{agua}} \frac{t_{acetona}}{t_{agua}} \sigma(\rho_{acetona})\right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{acetona}}{\rho_{agua}} \frac{1}{t_{agua}} \sigma(t_{acetona})\right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{acetona}}{\rho_{agua}^2} \frac{t_{acetona}}{t_{agua}} \sigma(\rho_{agua})\right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{acetona}}{\rho_{agua}} \frac{t_{acetona}}{t_{agua}^2} \sigma(t_{agua})\right)^2} = 0.0003$$

$$\sigma_r = \frac{0.0003 \cdot 100}{0.4314} = 0.07\%$$

Etanol

Densidad

$$\left. \begin{array}{c} 0.7508 \\ 0.7509 \\ \frac{\rho'}{\rho} = \frac{0.7507}{0.7509} \\ 0.7508 \\ 0.7507 \end{array} \right\} = 0.7508 \pm 0.0001 \quad \sigma = \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{4} = 0.00005$$

Como el error de la balanza (0.0001) es mayor que el error de dispersión (0.00005) se utiliza el error de la balanza como error de la medida.

$$\rho' = \frac{\rho'}{\rho} \rho = 0.7508 \cdot 0.99730 = 0.748773 \pm 0.000018g/cm^3$$

$$\sigma_{\rho'} = \sqrt{\left(\rho \sigma_{\frac{\rho'}{\rho}}\right)^2 + \left(\frac{\rho'}{\rho} \sigma_{\rho}\right)^2} = 0.000018$$

$$\sigma_r = \frac{0.000018 \cdot 100}{0.748773} = 0.002\%$$

Tiempo

$$t = \left. \begin{array}{c} 55.25 \\ 56.57 \\ 55.50 \\ 55.25 \\ 55.18 \\ 55.86 \end{array} \right\} = 55.6 \pm 0.4s \quad \sigma = \frac{|x_{\max} - x_{\min}|}{4} = 0.4$$

Como el error de dispersión (0.4) es mayor que el error del cronometro (0.01) se utiliza el error de dispersión como error de la medida.

Viscosidad

$$\eta_{e \tan ol} = \eta_{agua} \frac{\rho_{e \tan ol}}{\rho_{agua}} \frac{t_{e \tan ol}}{t_{agua}} = 0.913 \cdot 0.7508 \frac{55.6}{24.47} = 1.558 \pm 0.004cp$$

$$\sigma(\eta_{e \tan ol}) = \sqrt{\left(\frac{\rho_{e \tan ol}}{\rho_{agua}} \frac{t_{e \tan ol}}{t_{agua}} \sigma(\eta_{agua}) \right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{1}{\rho_{agua}} \frac{t_{e \tan ol}}{t_{agua}} \sigma(\rho_{e \tan ol}) \right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{e \tan ol}}{\rho_{agua}} \frac{1}{t_{agua}} \sigma(t_{e \tan ol}) \right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{e \tan ol}}{\rho_{agua}^2} \frac{t_{e \tan ol}}{t_{agua}} \sigma(\rho_{agua}) \right)^2 + \left(\eta_{agua} \frac{\rho_{e \tan ol}}{\rho_{agua}} \frac{t_{e \tan ol}}{t_{agua}^2} \sigma(t_{agua}) \right)^2} = 0.004$$

$$\sigma_r = \frac{0.004 \cdot 100}{1.558} = 0.3\%$$

Conclusión

En esta práctica se ha calculado mediante unos sencillos pasos la densidad y la viscosidad de 2 líquidos utilizando principalmente la balanza de Mohr-Westphal y el viscosímetro de Ostwald. Repitiendo el experimento a diferentes temperaturas se podría crear una tabla con la que poder sacar la viscosidad y densidad a cierta temperatura (interpolación) para no tener que realizar todo el experimento si hace falta utilizar alguno de los datos en otra temperatura.