

MEDIDA DE LA VISCOSIDAD Y DENSIDAD DE DOS LÍQUIDOS

(PRÁCTICA N° 5)

CARLOS HUERTAS BARRA
FERNANDO HUESO GONZÁLEZ
1° DE FISICA Grupo B. L1/2
Práctica realizada el 9-I-08
Informe entregado el 16-I-08

ÍNDICE

ÍNDICE	- 2 -
RESUMEN	- 3 -
MATERIALES UTILIZADOS	- 3 -
BREVE EXPLICACIÓN DE LOS LÍQUIDOS PROBLEMA ..	- 4 -
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	- 4 -
DENSIDAD.....	- 6 -
VISCOSIDAD	- 8 -
CONCLUSIÓN	- 9 -

RESUMEN

En este experimento se ha determinado la densidad de dos líquidos (acetona y etanol) mediante la balanza de Mohr-Westphal. Para ello, calibra la balanza de forma que es posible medir la densidad relativa de cada líquido con respecto al agua. Teniendo en cuenta la densidad del agua que aparece en las tablas a la temperatura que medimos, obtenemos la densidad de dicho líquido.

Asimismo, se han medido sus respectivas viscosidades mediante el viscosímetro de Ostwald. Para ello se mide el tiempo que tarda en descender cada líquido una distancia por un tubo capilar pequeño de cristal a causa de a una diferencia de presión desconocida. Análogamente a las densidades, se mide el tiempo para el agua, cuya viscosidad es conocida (varía según la temperatura medida), con lo que a partir de la viscosidad relativa se puede obtener la viscosidad de cada líquido.

Finalmente se han comparado los resultados obtenidos para la densidad y para la viscosidad con los valores tabulados en manuales.

MATERIALES UTILIZADOS

Para poder hallar la viscosidad y la densidad de nuestros líquidos problema, en el experimento se han utilizado los siguientes materiales: un viscosímetro de Ostwald, una balanza de Mohr-Westphal, un soporte con una pinza para poder sujetar el viscosímetro, una pera para poder succionar ambos líquidos a través de la pipeta, un termómetro digital con precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$, una probeta de cristal de 100 cm^3 , un vaso de precipitaciones, un cronómetro digital para el apartado de la viscosidad y los dos líquidos problema, que son el etanol o más comúnmente llamado alcohol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) y la acetona ($\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$).

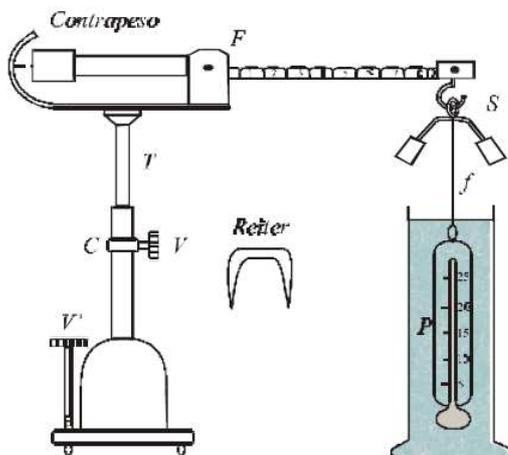


FIG. 1-BALANZA DE MOHR-WESTPHAL

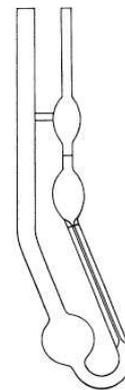


FIG. 2-VISCOSÍMETRO DE OSTWALD

BREVE EXPLICACIÓN DE LOS LÍQUIDOS PROBLEMA

A continuación se explican brevemente algunas de las propiedades físico-químicas de los dos compuestos utilizados en el experimento.

ACETONA

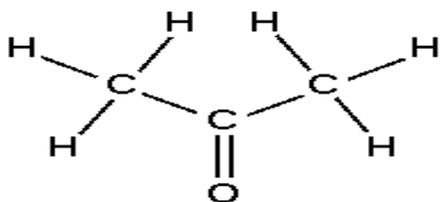


FIG. 3-ESTRUCTURA DE UNA MOLÉC. DE ACETONA

La acetona o propanona es un compuesto químico de fórmula empírica $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ perteneciente al grupo químico de las cetonas (butanona, propano, propanal, ácido propílico, etc.), que se puede encontrar naturalmente en el medio ambiente. La acetona es incolora, tiene un sabor y olor característicos, se evapora fácilmente (es muy volátil), es inflamable y soluble en agua. La acetona se usa para la fabricación de plásticos, fibras, medicamentos, disolventes de otras sustancias y otros muchos productos mediante tratamientos de síntesis industriales.

ETANOL

El etanol o alcohol etílico es un compuesto químico, cuya fórmula es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, perteneciente al grupo químico de los alcoholes (metanol, butanol, octanol, etc.), que se puede encontrar naturalmente como un líquido. El etanol es incoloro, inflamable, volátil; su punto de fusión es de 158,9K, el de ebullición, de 351K. Uno de los usos más comunes que se le da al etanol es en las bebidas alcohólicas, pero también se usa con fines industriales, como por ejemplo en el sector farmacéutico como principio activo o como anticongelante, entre otros usos.

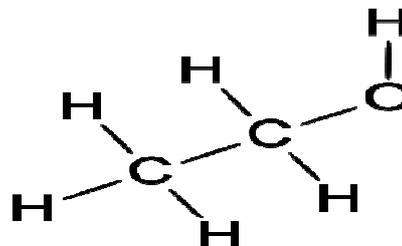


FIG. 4- ESTRUCTURA DE UNA MOLÉCULA DE ETANOL

Fuentes consultadas:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Acetona>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol>

<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0087.htm>

<http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0044.htm>

http://www.ugr.es/~museojtg/instrumento44/ficha_fundamentos2.htm

<http://campusvirtual.uma.es/c105/pract/pract13.html>

http://www.quiminet.com.mx/principal/resultados_busqueda.php?N=Viscos%EDmetros%20de%20Ostwald

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se explican brevemente los fundamentos teóricos en los que se basa cada uno de los métodos utilizados en nuestro experimento, es decir, la balanza de Mohr-Westphal y el viscosímetro de Ostwald.

BALANZA DE MOHR-WESTPHAL

La balanza de Mohr-Westphal consta de un pie fijo y dos brazos desiguales que se apoyan en el eje del pie fijo. En un lado hay un contrapeso y una "aguja" que marcará el equilibrio posteriormente si se alinea con la envoltura semicilíndrica, en la que hay otra pequeña punta horizontal. En el lado opuesto hay un gancho para colgar un inmersor: un tubo cerrado de vidrio que se debe sumergir en agua destilada para calibrar la balanza. Una vez está completamente hundido, se debe regular el soporte mediante una tuerca para que la balanza marque el equilibrio (las puntas del lado izquierdo alineadas), habiendo colocado previamente un reiter S del gancho. El reiter S contrarresta exactamente el empuje que aparece al sumergir el inmersor en el agua. Los reiter servirán para ajustar la

densidad relativa de otro líquido hasta 4 posiciones decimales. Uno de los cuatro reiters es igual al S, y los tres restantes pesan 1/10 del anterior. El método es el siguiente:

Los reiters se van colocando a lo largo del brazo de cuyo extremo pende un reiter S y el inmersor. En dicho brazo hay marcadas 10 muescas separadas un mismo intervalo. Por tanto, se cumple que el momento de las fuerzas en ambos lados debe ser equivalente en caso de que haya un equilibrio y las agujas estén alineadas. Para alcanzar este equilibrio se van añadiendo reiters sobre el brazo con las muescas (numeradas del 1 al 9) y variando la distancia para ir acercándose cada vez más al equilibrio. Si la densidad del líquido es menor que la del agua, habrá que quitar el reiter S del gancho e ir situando de igual manera los restantes. En el equilibrio, por tanto, el par de empuje será igual al par de los jinetillos (reiters), con lo que el par de empuje:

$P = A(1 + 0,1a + 0,01b + 0,001c + 0,0001d) = A \times 1.abcd$ [1], siendo A el peso del jinetillo más grande (S), y a, b, c y d las distancias desde el eje hasta la muesca donde se sitúa cada jinetillo. Por ello, cuanto más pequeño sea el jinetillo, obtendremos una precisión mayor (posición decimal más a la derecha) y la distancia al eje (inscrita en las muescas) nos dirá la cifra en dicha posición.

Como se ha calibrado la báscula para que cuando haya sólo 1A esté equilibrada, la densidad (relativa) será 1.0000. Esto es válido para el peso del agua desalojada por el inmersor. Al cambiar el líquido, el volumen desalojado será el mismo, pero la densidad variará, con lo que:

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho' V g}{\rho V g} = \frac{\rho'}{\rho} = 1.abcd \quad [2], \text{ que será la densidad relativa del líquido respecto al agua.}$$

Para obtener un valor adecuado de la densidad del agua se deberá medir la temperatura e interpolar en tablas para obtener el valor más preciso posible.

Si el jinetillo A debe quitarse de la posición en el gancho (en caso de que la densidad relativa sea menor, la fórmula será la siguiente:

$P = A(0,1a + 0,01b + 0,001c + 0,0001d) = A \times 0.abcd$. La densidad relativa:

$$\frac{\rho'}{\rho} = 0.abcd \quad [3]$$

Hay que señalar que, al sumergir el inmersor, se desprecia el volumen de hilo que está sumergido. Lo que sí que hay que tener en cuenta es que, en todo momento de la medida, no haya ninguna parte del inmersor fuera del agua (se descompensarían los datos). También hay que tener en cuenta que el inmersor no debe tocar la pared ni el fondo para que no existan fuerzas tangenciales que interfieran en la del empuje.

Es conveniente destacar que la balanza nos permite medir densidades relativas desde 0,0001 hasta 2,1110 al haber dos reiters S y poder situar todos los jinetillos en la posición del gancho (a,b,c,d=10). Por tanto, esta balanza es útil para todas las densidades menores que las del agua (teóricamente, si fuesen muy bajas, el método tendría un error relativo grande), y para densidades hasta algo más de 2 veces la del agua. Si quisiésemos medir densidades mayores, necesitaríamos más reiters.

VISCOSÍMETRO DE OSTWALD

El viscosímetro de Ostwald es un método muy utilizado para la medida de viscosidades relativas en líquidos puros, biológicos y especialmente para fluidos newtonianos, en los cuales la viscosidad permanece constante pese a cambiar la tensión tangencial ejercida.

Este viscosímetro se basa fundamentalmente en una fórmula conocida como Ley de Poiseuille: $\phi_v = \frac{\pi R^4 \cdot \Delta P}{8\eta \cdot L}$ [4], donde πR^4 es el área transversal A de un tubo de longitud L, η es la viscosidad dinámica y ΔP la caída de presión.

Así pues, si se mantiene una diferencia de presión $p_1 - p_2$ constante a lo largo de todo el tubo y se conocen las variables y el tiempo t que tarda el líquido problema en desplazarse por el interior del tubo, podemos conocer la viscosidad del líquido. Si el tubo es vertical, el fluido es acele-

rado por la acción de la gravedad g , así pues la expresión [4] nos queda de la forma: $V = \frac{\pi R^4 \rho g h}{8\eta L} \cdot t$ [5]

Sin embargo, es complicado medir el radio del tubo capilar, así como la longitud exacta del tubo y la diferencia de presión. Además, el radio debería medirse con gran precisión pues está elevado a cuatro, con lo que su contribución al error final es muy grande. Por ello se opta por el método de calcular la viscosidad relativa respecto de una ya conocida.

Usando el mismo viscosímetro concreto, podemos medir el tiempo t que emplea un líquido de ρ y η conocidas, es decir un líquido de referencia (en nuestro caso el agua), en desalojar un volumen V del tubo (descender una altura), el cual es el mismo que tiene que desalojar el líquido problema con ρ' y η' . Por tanto, podemos aplicar la expresión [5] para los dos líquidos, el de referencia y el problema, obteniendo:

$$t = \frac{8VL \cdot \eta}{\pi R^4 g h \rho} \Rightarrow$$

$$t' = \frac{8VL \cdot \eta'}{\pi R^4 g h \rho'} \Rightarrow \quad \eta' = \eta \frac{\rho' \cdot t'}{\rho \cdot t} \quad [6]$$

Por lo tanto, a partir de la expresión [6] que acabamos de obtener, basta con conocer la viscosidad de uno de los líquidos y la densidad de ambos así como el tiempo que tardan ambos líquidos en desalojar un volumen V igual para ambos y constante, para poder hallar la viscosidad del otro.

DENSIDAD

Mediante la balanza de Mohr-Westphal se lleva a cabo la determinación de la densidad de dos líquidos problema. Para ello se calibra la balanza previamente llenando con agua destilada la probeta y sumergiendo completamente el inmersor en ella. Del gancho de la balanza debe colgar dicho inmersor y el jinetillo más grande, que debe contrarrestar el empuje debido al inmersor en el agua destilada.

Realizamos este proceso dos veces para estar totalmente seguros de que la balanza esté bien calibrada, pues una vez sustituyamos el agua por los líquidos problema, el ajuste de la balanza permanecerá así para el resto del experimento. (Después de la primera calibración se saca el inmersor, se seca completamente y se vuelve a sumergir. Posteriormente se ajusta de nuevo para que la aguja del contrapeso indique exactamente la punta que marca el equilibrio. Es conveniente indicar que el ajuste es “a ojo”, es decir, que el “error” del experimentador es bastante influyente, ya que una variación muy pequeña en dicho ajuste del nivel de la balanza puede hacer variar las cifras finales considerablemente.

Para poder determinar la densidad del agua con precisión, valor que se empleará para calcular las otras densidades, es necesario medir en este momento la temperatura del agua a la que se ha equilibrado la balanza, pues todos nuestros resultados dependerán de este valor. Conviene señalar que tanto la densidad como la viscosidad varían con la temperatura, disminuyendo ambas si se eleva la temperatura (excepto la densidad en el agua a menos de 4 grados). (1)

En el experimento medimos dicha temperatura varias veces con un termómetro electrónico con una precisión de 0.1°C .

$$T_{\text{agua}} = 22.7 \pm 0.1^\circ \text{C}$$

No obstante, como comprobamos a lo largo de la calibración inicial en el experimento, el agua se fue calentando poco a poco un par de décimas de grado, con lo que el margen de incerti-

dumbre es algo mayor. Por tanto, establecemos en 0.2° C el error en la medida de la temperatura: $\delta(T) = 0.2^\circ C$ (Se calienta, por ejemplo, debido a la presencia humana).

Una vez medida dicha temperatura, es necesario obtener el valor de la densidad a partir de una interpolación en tablas para valores conocidos:

T (° C)	20	25
ρ (g/cm ³)	0.998230	0.997071
η (cp)	1.0019	0.8909

Tabla 1.- Densidad y viscosidad del agua a distintas temperaturas. (1)

En nuestro caso:

$$\rho_{22.7^\circ}(\text{agua}) = (22.7 - 20) \frac{0.997071 - 0.998230}{25 - 20} + 0.998230 = 0.99760414 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\delta(\rho) = \frac{0.997071 - 0.998230}{25 - 20} \delta(T) = 5 \times 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho(\text{agua})_{-22.7^\circ\text{C}} = \mathbf{0.99760 \pm 0.00005 \text{ g/cm}^3}$$

Posteriormente, se saca el inmersor, se vacía la probeta y ambos se secan bien para que no se mezcle el agua con el líquido problema. El primero que introducimos es el etanol. Se ajustan los reiters para alcanzar el punto máximo de equilibrio y se “leen” según la ecuación [3]. Repetimos tres veces el proceso sacando el inmersor, secándolo y volviéndolo a introducir, obteniendo los siguientes valores para la densidad relativa:

$$\rho_r(\text{et})_1 = 0.7714 \quad \rho_r(\text{et})_2 = 0.7713 \quad \rho_r(\text{et})_3 = 0.7713$$

Como la dispersión es menor del 2%, bastan esas tres medidas. La “sensibilidad” de la balanza es la del reiter más pequeño, es decir, de 0.0001. (Cabe indicar que se asume que los pesos de los jinetillos son exactamente 1/10 del anterior y que su error es despreciable. El pequeño se coloca con pinzas) Es destacable la precisión de la báscula con un sistema tan sencillo, que alcanza la cuarta posición decimal, sin por ello dispersarse los datos.

Para comprobar posteriormente a partir de la bibliografía la concordancia entre los datos obtenidos y los tabulados, se mide también la temperatura del etanol para después poder interpolar en las tablas: $T_{\text{etanol}} = 23.2 \pm 0.2^\circ C$.

El valor final es: $\rho_r(\text{etanol})_{-23.2^\circ\text{C}} = 0.7713 \pm 0.0001$. Despejando de la ecuación [3], obtenemos la densidad del etanol, con su error:

$$\delta(\rho_{\text{et}}) = \sqrt{(\rho_{r-\text{et}} \delta(\rho_{\text{ag}}))^2 + (\rho_{\text{ag}} \delta(\rho_{r-\text{et}}))^2} = 0.00011$$

$$\rho(\text{etanol})_{-23.2^\circ\text{C}} = \mathbf{0.76949 \pm 0.00011 \text{ g/cm}^3}.$$

Exactamente el mismo proceso se repite, una vez bien secos probeta e inmersor, para el segundo líquido problema, la acetona. Los valores obtenidos son:

$$\rho_r(\text{ac})_1 = 0.7517 \quad \rho_r(\text{ac})_2 = 0.7519 \quad \rho_r(\text{ac})_3 = 0.7520$$

La dispersión es menor del 2%, con lo que las tres medidas son suficientes. El error será el de sensibilidad (que es mayor que el de dispersión).

Asimismo, medimos la temperatura:

$$T_{\text{acetona}} = 23.1 \pm 0.2^\circ C.$$

El valor medio de la densidad relativa es: $\rho_r(\text{acetona})_{-23.1^\circ\text{C}} = 0.7519 \pm 0.0001$

Multiplicando por la densidad del agua y calculando el error, obtenemos:

$$\rho(\text{acetona})_{-23.1^\circ\text{C}} = \mathbf{0.75007 \pm 0.00011 \text{ g/cm}^3}$$

VISCOSIDAD

Como ya se ha explicado en el apartado sobre el viscosímetro, debe medirse el tiempo que tarda en descender un nivel cada líquido problema, para luego compararlo con el tiempo que tarda el agua y conociendo su viscosidad, obtener la viscosidad de los otros dos líquidos. El agua se mide después de los otros dos, pues es menos volátil que los otros dos, con lo que sería muy difícil secar el tubo capilar y los líquidos se mezclarían, con lo que no tendríamos un líquido puro. Este método de medida es relativo, es decir, los tiempos van a depender del radio del capilar, y en general de todas sus dimensiones, por lo que no podremos comparar dichos tiempos con otros experimentos. Lo que sí podremos verificar es si la viscosidad relativa es la misma.

Comenzamos con el alcohol, llenando el viscosímetro con 6 ml mediante una pipeta (error despreciable). El volumen introducido será el mismo para los otros dos líquidos.

A continuación se “aspira” con la propipeta (pera) por el tubo capilar más pequeño hasta que el líquido ha subido por encima de la marca superior. Luego se suelta la pera y se cronometra el tiempo que tarda en descender el líquido desde la marca superior hasta la inferior.

Se obtienen las siguientes medidas para los distintos líquidos:

t (s)	Acetona	Alcohol	Agua
t ₁	14.0	43.1	24.8
t ₂	13.8	43.7	25.0
t ₃	13.8	43.9	25.2
t ₄	13.8		
t ₅	13.7		
t ₆	13.8		
t_{med}	13,8	43.5	25.0
δ_{exp}(t)	0.2		

Tabla 2.- Tiempos de descenso entre las marcas del viscosímetro para cada líquido:

Nota: Datos ya redondeados con el error de reacción el experimentador.

Una vez vaciado, antes de introducir el nuevo líquido, hay que esperar a que se seque para que no se mezclen distintos líquidos.

En la acetona, la dispersión de las primeras medidas era mayor del 2%, por lo que tuvimos que hacer tres medidas más, bastando esas seis ($D < 8\%$). Posteriormente se escoge entre el error de dispersión ($\delta_{disp} = 0.08$) y el de sensibilidad. En este caso, al haber un gran error de reacción, no tiene sentido emplear la sensibilidad del cronómetro. Hay que estimar de alguna manera el error del experimentador. Como hemos ido haciendo en otros experimentos en el que usábamos el cronómetro, estimamos éste en 0.2s, con justificación adicional en este caso, al ser la reacción más complicada, pues la velocidad de descenso varía bruscamente al entrar por el capilar pequeño. Por ello, escogemos el mayor de los dos errores, el de reacción.

La dispersión mayor en la acetona es debida a que la velocidad de caída es mayor, debido a que es muy fluida (poco viscosa). Por lo tanto, al ser los tiempos más pequeño, y el error el mismo en todos los casos, el error relativo es mayor en la acetona.

Por el contrario, en el alcohol (más viscoso), que es el que más tiempo emplea en descender la misma altura, la dispersión es menor al ser los tiempos mayores.

Además, hay un error no contemplado, el debido a la verticalidad que debe mantener el tubo, lo cual es difícilmente cuantificable, así como posibles errores debido a restos del líquido anterior al no haber tenido tiempo suficiente para que se secase por completo.

Para obtener la viscosidad del agua, volvemos a medir la temperatura del agua destilada:

$$T_{\text{agua}} = 22.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Interpolando según la Tabla 1, obtenemos:

$$\eta_{\text{agua-22,9}^\circ\text{C}} = 0.9375 \pm 0.0004 \text{ cp}$$

Las temperaturas de los líquidos problemas son las mismas que en el apartado anterior. Para calcular ahora la viscosidad de cada líquido, modificando [6]:

$$\eta_{liq} = \eta_{ag} \rho_r \frac{t_{liq}}{t_{ag}}, \text{ siendo conocidas todas las variables.}$$

La expresión para el error será:

$$\delta(\eta_{liq}) = \sqrt{\left(\rho_r \frac{t_{liq}}{t_{ag}} \delta(\eta_{ag})\right)^2 + \left(\eta_{ag} \frac{t_{liq}}{t_{ag}} \delta(\rho_r)\right)^2 + \left(\rho_r \frac{\eta_{ag}}{t_{ag}} \delta(t_{liq})\right)^2 + \left(-\rho_r \frac{\eta_{ag} t_{liq}}{t_{ag}^2} \delta(t_{ag})\right)^2}$$

(El “peso” en la incertidumbre lo tendrá el error del tiempo.)

Sustituyendo, se obtienen los siguientes valores:

$$\eta_{\text{acetona-23,1}^\circ\text{C}} = \mathbf{0.389 \pm 0.006 \text{ cp}}$$

$$\eta_{\text{etanol-23,2}^\circ\text{C}} = \mathbf{1.258 \pm 0.012 \text{ cp}}$$

El alcohol es más viscoso de los tres líquidos, mientras que la acetona es aproximadamente el doble de fluido que el agua. Por tanto, mediante la simple medida de los tiempos relativos de descenso por un tubo capilar se puede determinar fácilmente qué proporción hay entre una viscosidad y otra; y si se conoce una de las viscosidades, determinar las restantes.

CONCLUSIÓN

Comparando con los valores de la bibliografía (II), interpolando previamente según la temperatura, se obtiene que:

		Acetona	Err. rel.	Etanol	Err. rel.
$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$	<i>Bibl.</i>	0.792	5.3%	0.791	2.7%
	<i>Exp.</i>	0.75007 ± 0.00011		0.76949 ± 0.00011	
$\eta \text{ (cp)}$	<i>Bibl.</i>	0.320	22%	1.137	11%
	<i>Exp.</i>	0.389 ± 0.006		1.258 ± 0.012	

Tabla 3.- Comparación de la densidad y viscosidad de los líquidos a una temperatura determinada.

Como se observa, los valores obtenidos experimentales y los leídos en la bibliografía no son compatibles a causa de que la barra de error es muy pequeña. En el caso de la densidad, se comprueba que en ambos casos, el valor tabulado es mayor que el obtenido experimentalmente. Esto puede ser un indicio de un error sistemático. Aparte, la densidad del alcohol es mayor, cuando (según la bibliografía) debería ser algo menor. También es cierto que debido a que la diferencia entre ambos valores es pequeña, este desajuste no es concluyente, y en cierta medida podría depender del líquido concreto empleado, si es totalmente puro o no, si ha entrado en contacto con otros elementos (como el plástico), etc.

La causa de la desviación inferior es probablemente algún error sistemático del método, como haber despreciado algún efecto que influye notablemente en el valor final. Para comprobar esta hipótesis, sería quizás necesario tomar más medidas de estos y otros líquidos para verificar que el resultado experimental es siempre más bajo que el aceptado.

Una posible causa del error sistemático en la densidad podría ser un mal ajuste en el nivel de la balanza, con lo que (al no variar en ambos líquidos dicho ajuste), el valor siempre sale por debajo.

Por tanto, el que los valores obtenidos sean adecuados o no va a depender notablemente del ajuste de la balanza; éste es un error que no hemos contemplado en ninguno de nuestros cálculos, por lo que hemos subestimado el margen de incertidumbre. Si el intervalo de error fuese mayor, los valores sí que serían compatibles. Con todo, los valores obtenidos entran dentro de una desviación relativa totalmente aceptable en el método experimental (<10%).

Hay que destacar que el método de la balanza de Mohr-Westphal es un método de medida algo rudimentario, en el que el fallo del experimentador es más influyente y en el que una pequeña variación del nivel de la balanza puede hacer variar los resultados, por ejemplo. Al tener tanta precisión (hasta el cuarto decimal en la densidad relativa), el tocar con las manos los reiters pequeños puede hacer variar su peso (en la medida de lo posible se utilizaron las pinzas). Dicho peso también podría ser una fuente de error, ya que no verificamos que efectivamente pesasen exactamente 1/10 del anterior, error que no hemos contemplado. Por tanto, al haber subestimado el margen de incertidumbre, obtenemos consecuentemente valores incompatibles.

No obstante, dicha balanza no pierde su sentido, pues se observan cualitativamente conceptos como el momento de una fuerza, el empuje según el volumen, cómo influye en eso la densidad, qué es el equilibrio, y se obtienen valores de forma cuantificada con un método simple y muy intuitivo.

En cuanto a la viscosidad, no podemos saber con certeza dónde reside el error, pues empleamos los datos de las densidades. Por tanto, podría ser una acumulación del error comentado para las densidades, o podría tratarse de un error debido a la dificultad de medición en el método experimental. Tanto la medida con el cronómetro (error contemplado) como el intentar mantener la verticalidad (no contemplado) pueden ser una fuente influyente de incertidumbre. Ambos valores son sensiblemente mayores que los tabulados. Los valores son incompatibles de nuevo debidos a una barra de error demasiado pequeña, pero además la desviación relativa excede los límites para considerar los valores aceptables.

En **resumen**, los valores obtenidos experimentalmente no concuerdan con los de la bibliografía, tratándose probablemente de un error sistemático en el método experimental de medida. Para obtener valores más exactos (que se ajusten más a los aceptados), deberíamos repetir el experimento varias veces y en distintas condiciones para aproximarlos a una media que sería relativamente fiable. En este experimento no se obtienen valores exactos (aunque sí precisos), pero sí que se observan cualitativamente algunos conceptos y fenómenos físicos. Se obtienen valores de la viscosidad y densidad mediante un sencillo método de medida relativo, que nos proporciona un valor aproximado y orientativo. Habría que refinar el método experimental para obtener un valor más ajustado al aceptado, para lo que existen otros aparatos más sofisticados. Sin embargo, el experimento ha cumplido el objetivo de hacernos comprender y visualizar qué es el momento de una fuerza, cómo influye la densidad en el empuje, qué es la viscosidad, cómo varía en el descenso de un tubo capilar según el líquido, ordenarlos de menor a mayor a viscosidad y obtener valores aproximados para dichos líquidos.

Fuentes consultadas:

- (I) *Guión de prácticas, Técnicas experimentales en Física General. (Tena, Ballester)*
- (II) *Handbook of Physics and Chemistry, 1965*