



La cámara digital en un experimento casero: determinación de la viscosidad del aceite

C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España;
ccarreras@ccia.uned.es

Recibido el 20/07/2007. Aprobado en versión final el 15/09/2007.

Sumario. Se propone la utilización de una cámara digital en un experimento casero para determinar la viscosidad del aceite. La utilización de la fotografía digital y de los programas de ordenador adecuados permite estudiar el movimiento de una gota de agua en el interior del aceite con gran precisión, lo que conduce al conocimiento de la viscosidad de éste último.

Abstract. We suggest the use of digital camera to determine oil viscosity in a low cost experiment. The digital picture of the movement of a water drop into olive oil is analyzed by computer in order to determine water drop velocity and oil viscosity.

Palabras clave. Uso de la computadora en el laboratorio 01.50.Lc, Viscosidad de líquidos 66.20.+d, Física General 01.55.+b.

1 Introducción

En los problemas de hidrodinámica que se plantean en los cursos de bachillerato e, incluso, en el primer año de universidad los líquidos son tratados como ideales: incompresibles, sin viscosidad y sin tensión superficial. Sin embargo, nos parece que es muy interesante presentar los fenómenos relacionados con estas magnitudes desde las primeras etapas del aprendizaje. Al hacerlo surgen dificultades experimentales y teóricas, algunas de las cuales pueden ser solucionadas con el empleo de la fotografía digital y el análisis de las figuras obtenidas con el ordenador, como ya ha sido realizado con éxito por otros autores^{1,2}. En lo que sigue, vamos a describir un experimento clásico de viscosidad en el que se pueden utilizar estas técnicas.

2 La viscosidad de los fluidos

La experiencia cotidiana nos enseña que unos líquidos fluyen mejor que otros. Esta diferencia en el fluir tiene

que ver con la viscosidad η , que es la resistencia que encuentran las moléculas de un fluido al moverse en su seno y que varía con las diferentes condiciones físicas a que está sometido (temperatura, presión,...). En el caso del aire, por ejemplo, la viscosidad fue estudiada experimentalmente nada menos que por Maxwell, y el propio Millikan la utilizó en su famoso experimento de la gota de aceite con el que determinó la carga elemental del electrón.

En el laboratorio de estudiantes se suele realizar un experimento ideado por Stokes para determinar la viscosidad de los líquidos. Consiste en analizar el movimiento de una esfera de acero en su seno cuando cae debido a la fuerza de la gravedad. Según la teoría, si el cuerpo desciende a una velocidad v experimenta una fuerza de frenado, F_η , debida a la viscosidad, que viene dada por la siguiente expresión:

$$F_\eta = 6\pi\eta rv$$

donde r es el radio de la esfera. Este experimento se suele hacer con glicerina debido a que este líquido tiene una viscosidad considerable, lo que hace que el movi-

miento de la bola de acero sea suficientemente lento para poder determinar su velocidad, que está relacionada directamente con la viscosidad.

Para simplificar el razonamiento vamos a suponer que la esfera ejecuta un movimiento vertical, por lo que utilizaremos en su descripción solamente la coordenada z con el origen en el fondo del recipiente que contiene el fluido (ver Figura 1).

Cuando la esfera está sumergida en el líquido, sobre ella actúan las siguientes fuerzas: el empuje de Arquímedes $m_b g$ hacia arriba, su peso $m_b g$ hacia abajo y, si se mueve a la velocidad $v = dz/dt$ (hacia arriba o hacia abajo), la fuerza de rozamiento viscoso, que se opone a su avance. La segunda ley de Newton permite establecer la ecuación diferencial que regula su movimiento:

$$m_b \frac{d^2 z}{dt^2} = -m_b g + m_b g - 6\pi\eta r \frac{dz}{dt}$$

donde m es la masa de fluido desalojado por la esfera y g la aceleración de la gravedad. Esta ecuación es fácil de resolver y su solución es:

$$z(t) = h + \beta(1 - e^{-\alpha t}) \quad ; \quad v(t) = -\alpha\beta(1 - e^{-\alpha t})$$

donde h es la altura a la que se encuentra la esfera en reposo en el instante inicial. Los parámetros α y β que aparecen en la solución se definen de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{9\eta}{2r^2\rho_b} \quad ; \quad \beta = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_b}\right) \frac{g}{\alpha^2}$$

donde ρ y ρ_b son las densidades del líquido y de la esfera, respectivamente.

El parámetro β , que es positivo cuando la densidad del líquido es menor que la de la esfera y negativo en caso contrario, define el sentido del movimiento. El parámetro α , que es proporcional a la viscosidad del líquido e inversamente proporcional al cuadrado del radio de la esfera, gobierna el régimen del movimiento: si es muy pequeño (líquido poco viscoso o esfera de radio muy grande) la velocidad varía fuertemente con el tiempo; si es muy grande (líquido muy viscoso o esfera de pequeño radio) el término exponencial decrece rápidamente y el movimiento es prácticamente uniforme, siendo su velocidad casi constante: $v = -\alpha\beta$. La medida de la velocidad v permite determinar la viscosidad η del fluido:

$$\eta = -\frac{2}{9} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_b}\right) \frac{g\rho_b r^2}{v} \quad (1)$$

El experimento de Stokes se puede realizar en casa con el siguiente material:

- Una botella de aceite de oliva de un litro, con las paredes planas, lisas y transparentes.
- Dos cuentagotas.
- Un cronómetro.
- Una jeringa de plástico aforada de 5 ó 10 cm³.
- Una cámara fotográfica digital.
- Un ordenador con software de tratamiento de imágenes y programa de gráficos.

El modo de operar es el siguiente:

1. Se disponen la botella y el cronómetro (éste último en

marcha) de manera que puedan ser fotografiados con la cámara.

2. Se deposita una gota de agua sobre la superficie del aceite. Si no logra romper la tensión superficial del líquido, con el otro cuentagotas se deposita un poco de aceite sobre ella hasta que penetre en el aceite y descienda como una gota perfectamente esférica.
3. Durante el descenso se pueden tomar varias instantáneas con la cámara fotográfica para ser analizadas después con el ordenador. Por este procedimiento se pueden determinar simultáneamente la posición de la gota y el instante de tiempo al que corresponde.
4. Con el ordenador se procede al análisis de los resultados y al cálculo de la viscosidad.

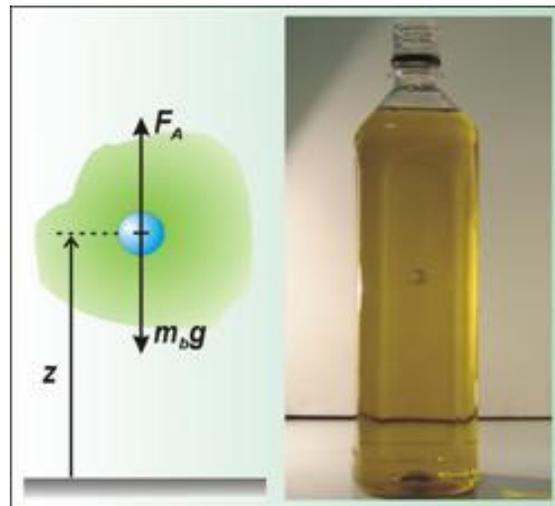


Figura 1. Esquema del experimento.



Figura 2. Instantánea de una gota de agua descendiendo.

3 Resultados obtenidos

a) *Constancia de la velocidad v:*

En la Figura 2 se muestra una instantánea de la gota de agua descendiendo en el aceite. A partir de cinco instantáneas similares se ha obtenido la gráfica $z(t)$ que se muestra en la Figura 3.

Como puede verse, la variación es perfectamente lineal y la velocidad v puede ser determinada con una incertidumbre inferior al 1%.

b) *Determinación de ρ y r :*

Para determinar la viscosidad del aceite mediante la fórmula (1) necesitamos conocer, además de la velocidad de la gota, su radio r y la densidad ρ del aceite. Esta última es fácil de determinar mediante una balanza casera ya descrita precedentemente³ y cuya fotografía puede verse en la Figura 4.

La densidad obtenida para el aceite utilizado con respecto a la del agua es $\rho/\rho_b = 0,92$, con una incertidumbre del 1%.

La determinación del radio r resulta más problemática. Lo ideal sería poder hacerlo a partir de la fotografía digital, pero nuestro sistema no nos proporciona la suficiente precisión. Por esta razón hemos utilizado un método más tradicional, que consiste en medir el volumen ocupado por un número elevado de gotas, para lo cual utilizamos el cuentagotas y la jeringa aforada. Al hacerlo se obtiene una determinada dispersión en los valores del radio de la gota, dispersión que llega a ser del 6%, como puede verse en la Tabla I. Esto significa que podemos definir una gota estándar de un determinado radio medio.

Tabla I Determinación del radio de las gotas.		
Volumen (cm ³)	Nº de gotas	r (mm)
5	91	2,36
7	107	2,50
7	107	2,50
8	137	2,41
8	146	2,36
9	158	2,39

Como ya hemos visto que la velocidad se mide con muy buena precisión gracias a la cámara fotográfica y al cronómetro, si hacemos la medida con diferentes gotas debemos obtener una dispersión en los valores de la velocidad que esté en consonancia con la dispersión en los valores de los radios. Es lo que observamos en el diagrama de la Figura 5. La dispersión es próxima al 10% y de ella se puede deducir un valor medio que corresponderá a la velocidad que llevaría la gota estándar.

En las medidas realizadas se han obtenido los siguientes valores medios para el radio r y la velocidad v :

$$r = 2,42 \text{ mm} \quad ; \quad v = -0,010 \text{ m s}^{-1}$$

A partir de estos valores obtenemos la viscosidad del aceite de oliva, que resulta ser:

$$\eta = 0,10 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad (10\% \text{ de incertidumbre})$$

que está en buen acuerdo con el valor que se obtiene en los laboratorios profesionales⁴.

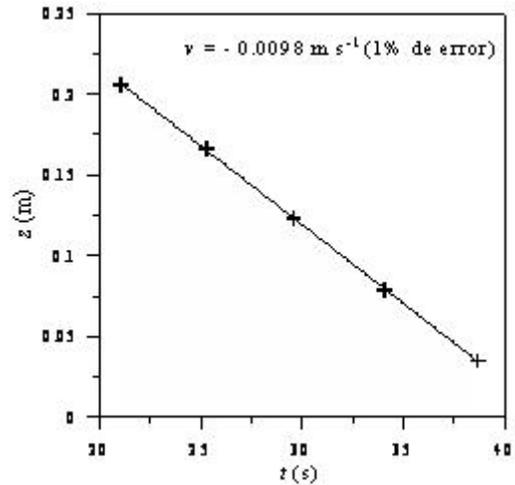


Figura 3. Gráfica de $z(t)$ en el descenso de una gota de agua sumergida en aceite.

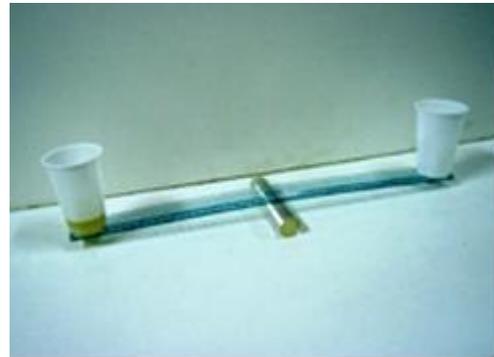


Figura 4. Balanza para determinar la densidad del aceite.

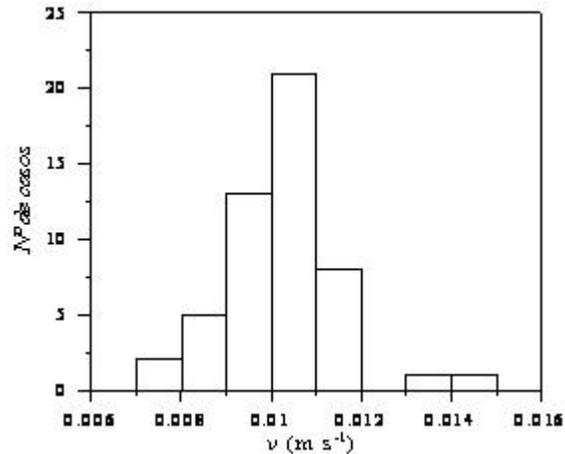


Figura 5. Diagrama de dispersión de la velocidad.

3 Conclusiones

Hemos visto que la utilización de la cámara fotográfica digital permite obtener instantáneas del movimiento, que pueden ser analizadas para calcular con mucha precisión la velocidad. Como estos recursos de las nuevas tecnologías de la información son cada vez más abundantes,

resulta necesario estudiar la manera de adaptarlos para mejorar el trabajo experimental de los estudiantes. Es de señalar que, en el experimento de Stokes, para obtener una medida fiable de la viscosidad en los laboratorios convencionales de alumnos es necesario trabajar con líquidos muy viscosos, como la glicerina, y utilizar recipientes de uno o dos metros de altura con el fin de conseguir una medida precisa de la velocidad. En el experimento propuesto, se puede utilizar un líquido mucho menos viscoso, el aceite de oliva, y la dimensión del “viscosímetro” (la botella de aceite) se reduce notablemente.

Referencias

1. R. Valdés, V. Tricio, J. Curbelo y A. Cubas. Resúmenes de las comunicaciones de la XXIX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Vol. 1, pp. 154-155 (2003).
2. R. Valdés y V. Tricio. 100cias@uned, N° 8, pp.144-152 (2005).
3. M. Yuste, C. Carreras y J.P. Sánchez. Libro de Actas del III Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, pp. 535-541 (2005).
4. Handbook of Chemistry and Physics, 58th edition, CRC Press, Ohio, Cleveland, USA (1977).