

IX Olimpiada Iberoamericana de Física

Salvador, Septiembre de 2004

1 Experimento I: Medidas de viscosidad y la Ley de Stokes

1.1 Objetivo

El objetivo de ese experimento es estudiar el roce viscoso que un fluido (óleo lubricante de automóviles) puede ejercer sobre objetos en movimiento en su interior.

1.2 Introducción

El movimiento de fluidos en tubos o de objetos en el interior de fluidos es objeto de la mecánica de los fluidos. De manera general, el movimiento relativo de sólidos y fluidos sólo puede ser descrito de forma simple en situaciones de baja velocidad. En esa situación decimos que el régimen de flujo es laminar pues el fluido se comporta como si compuesto de capas muy finas que deslizan, con roce en la situación real, unas sobre las otras. La forma de esas láminas depende de la simetría del problema particular. En las condiciones de flujo laminar podemos definir el coeficiente de viscosidad dinámica, η .

En 1850, G. G. Stokes mostró que si el flujo es laminar, la fuerza de arrastre ejercida por el fluido sobre una esfera de radio r desplazándose con velocidad \vec{v} en un medio infinito de viscosidad η , es dada por:

$$\vec{F}_S = -6\pi\eta r\vec{v}. \quad (1)$$

Cuando existen paredes próximas (o sea, si la hipótesis de medio infinito no es satisfecha) correcciones a la ley de Stokes (1) deben ser adicionadas. En el caso de una esfera cayendo verticalmente a lo largo del eje de un cilindro de longitud H y radio interno $R > r$, R. Ladenburg, O. Emersleben y H. Faxén determinaron que la fuerza de resistencia calculada por Stokes debe ser corregida para

$$\vec{F}_S = -6\pi\eta\lambda r\vec{v},$$

siendo que, en la aproximación en que $R \gg r$, $H \gg r$ y para bajas velocidades, se tiene

$$\lambda = \left(\frac{1 + 3,3 \left(\frac{r}{H} \right)}{1 - 2,104 \left(\frac{r}{R} \right) + 2,09 \left(\frac{r}{R} \right)^3} \right).$$

1.3 Cuestión

Considere la esfera en caída vertical a lo largo del eje del cilindro. Escriba la ecuación de movimiento, usando la segunda ley de Newton, para la fuerza resultante (peso, roce y empuje) sobre la esfera. La presencia de roce viscoso hace con que la velocidad de la esfera se aproxime rápidamente de una velocidad límite v_{lim} . Muestre que esa velocidad límite es dada por

$$v_{\text{lim}} = \frac{2(\rho_{\text{esf}} - \rho)}{9\eta\lambda} gr^2,$$

ρ_{esf} siendo la densidad de la esfera y g la aceleración de la gravedad.

1.4 Experimento

1.4.1 Material

Una probeta con aproximadamente 1 litro de óleo lubricante de automóviles, 20 esferas metálicas de diámetros 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm e 3,0 mm (5 de cada), 1 cronómetro, regla gradada, tela adhesiva y papel milimetrado. Sabemos que la densidad del óleo es $0,89 \text{ g/cm}^3$, la densidad de las esferas metálicas es $7,8 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ y el diámetro interno de la probeta es $60,5 \pm 0,5 \text{ mm}$. Tome $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

1.4.2 Medidas y Análisis

1. Mida la velocidad límite de caída para esferas de diferentes diámetros, tomando cuidado para dejar caer las esferas lo más cerca posible del eje de la probeta. Describa detalladamente el procedimiento utilizado y estime el error de sus medidas.
2. Haga el estudio en papel milimetrado de la dependencia de v_{lim} como función del radio r de las esferas.
3. Obtenga el coeficiente de viscosidad del óleo, η . Estime el error de su medida.
4. El régimen en que se dan los fenómenos dinámicos en fluidos puede ser evaluado con la introducción de un parámetro adimensional, denominado número de Reynolds. En el caso en cuestión el número de Reynolds puede ser adoptado como

$$\mathcal{R} = \frac{2r\rho v_{\text{lim}}}{\eta}, \quad (2)$$

donde ρ es la densidad del fluido. Un valor $\mathcal{R} \ll 1$ indica que la aproximación laminar es razonable. Verifique la condición de régimen laminar para los experimentos realizados con las diversas esferas utilizadas.