

Clase 07: Viscosidad en fluidos

Laboratorio de física 1 para químicos
1er cuatrimestre 2024

1) Explicación teórica:

Viscosidad en fluidos

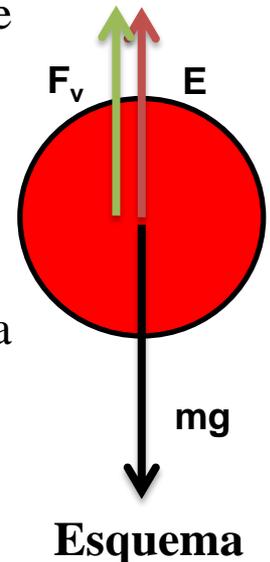
- Cuando un cuerpo se mueve en caída libre en el vacío, éste se encuentra sometido sólo a la acción de su peso.
- La aceleración es constante (g) y la velocidad aumenta proporcionalmente con el tiempo.
- En particular, si el cuerpo cae en un **fluido viscoso**, además del propio peso (mg), el cuerpo también está sometido a una fuerza denominada empuje (E), que es de sentido contrario al peso.
- Según el **principio de Arquímedes**, el empuje es igual al peso del líquido desalojado:

$$E = g\delta_{liq}V_c \quad (1)$$

- Siendo δ_{liq} la densidad del líquido y V_c el volumen del cuerpo sumergido.
- Por otra parte, como el cuerpo se mueve aparece una fuerza viscosa (F_v) que se opone al movimiento del cuerpo
- Para el caso de una esfera en un flujo laminar, la **Ley de Stokes** afirma que:

$$F_v = 6\pi\eta Rv \quad (2)$$

- Donde η es el coeficiente de viscosidad del fluido, R el radio de la esfera y v la velocidad del cuerpo.



1) Explicación teórica:

Viscosidad en fluidos

- Si se plantea la 2da ley de Newton para las fuerzas sobre el cuerpo:

$$\boxed{mg - E - F_v = ma} \quad (3) \quad \text{Con:} \quad E = g\delta_{liq}V_c \quad \text{y} \quad F_v = 6\pi\eta Rv$$

- Si $mg > E + F_v$, el cuerpo acelera y aumenta su velocidad.
- Al aumentar la velocidad, aumenta la fuerza viscosa y se reduce la aceleración.
- En el **límite**, se equilibran las fuerzas: $mg = E + F_v$ y la aceleración es nula. Entonces, la **velocidad** alcanza su valor **límite** (v_{lim}).

- Para el caso de una esfera perfecta, con volumen $V_c = \frac{4}{3}\pi R^3$, estando en el caso límite ($a=0$ y $v = v_{lim}$) y reemplazando E y F_v por las expresiones (1) y (2) en la ecuación (3), se puede despejar la velocidad límite como:

$$\boxed{v_{lim} = \frac{2 R^2 g (\delta_{esf} - \delta_{liq})}{9 \eta}} \quad (4)$$

- Donde δ_{esf} es la densidad de la esfera.

- Preguntas: 1) ¿Cómo se puede obtener la velocidad límite del cuerpo en el fluido? (¿qué ecuación se debe utilizar?)
- 2) ¿Cómo se puede obtener la viscosidad del fluido, η ?

Unidades de la viscosidad: N.s/m² ó kg/m.s ó Poise = g/s.m

1) Explicación teórica:

Viscosidad en fluidos

• Reescribiendo la ecuación (3) como una ecuación diferencial y agrupando términos queda:

$$\ddot{x} = \beta - \alpha \cdot \dot{x} \quad (5)$$

• Donde: $\alpha = (6\pi\eta R)/m$ y $\beta = (\delta_{\text{esf}} - \delta_{\text{liq}})g V_c/m$

• Se propone como solución de la ecuación diferencial homogénea una función exponencial, ya que la velocidad aumenta en función del tiempo hasta alcanzar una velocidad límite que se vuelve constante, donde la aceleración es nula, más una función lineal (solución particular), y que parte con velocidad nula como condición inicial. De esta forma se obtiene:

$$x(t) = v_{\text{lim}} \cdot t + v_{\text{lim}} \alpha \exp(-\alpha t) \quad (6)$$

$$\dot{x}(t) = v_{\text{lim}}(1 - \exp(-\alpha t))$$

• Se va a utilizar la parte lineal de la solución, ya que en general el cuerpo alcanza rápidamente la velocidad límite (solución en la parte estacionaria) y no se llega a apreciar la parte del transitorio.

2) Experimento

• Objetivos:

-Estudiar el movimiento de caída de una esfera en el seno de un fluido, obteniendo la v_{lim} para distintas esferas y el coeficiente de viscosidad del fluido, η .

a) Utilizar 5 esferas de radio distinto pero de igual material y una probeta con mezcla de glicerina y agua. Previamente, medir el radio de la esfera (con calibre) y la densidad de la esfera ($\delta = m/V$).

b) Arrojar las esferas (con una pinza) por la probeta mientras se mide/graba el experimento (puede ser con un celular o con una cámara de PC). Ver de poner una regla como referencia y un fondo que contraste con la probeta (se recomienda una hoja blanca). **IMPORTANTE!** Estar seguro/a de cuándo se va a tirar la esfera dado que si el experimento falla hay que sacar la esfera del fondo de la probeta y limpiarla bien.

c) Abrir los videos con el programa **TRACKER** y allí hacer el análisis del movimiento x vs t . **IMPORTANTE!** Leer el apunte del uso del programa TRACKER, donde también se recomienda el armado del experimento y la calibración.

d) Exportar los datos de x vs t en un programa de análisis y obtener v_{lim} de algún ajuste.

Observación: se va a obtener un v_{lim} por cada esfera.

e) Luego graficar v_{lim} vs $R^2(\delta_{\text{esf}} - \delta_{\text{liq}})$ para cada esfera y obtener η según ecuación (3). Previamente medir δ_{liq} con un densímetro.

2) Experimento

• Observación

Se estudia el movimiento en un recinto cerrado por lo que va a ser necesario usar una corrección en la velocidad límite, dado por la abertura del tubo.

$$\boxed{v_{\text{lim}}^{\text{medido}} = \frac{2 R^2 g (\delta_{\text{esf}} - \delta_{\text{liq}})}{9 \eta}} \quad (4')$$

Corrección de Ladenburg [1] es válida para $R \ll H$ (altura de la probeta) y $R/r_{\text{tubo}} < 0,2$:

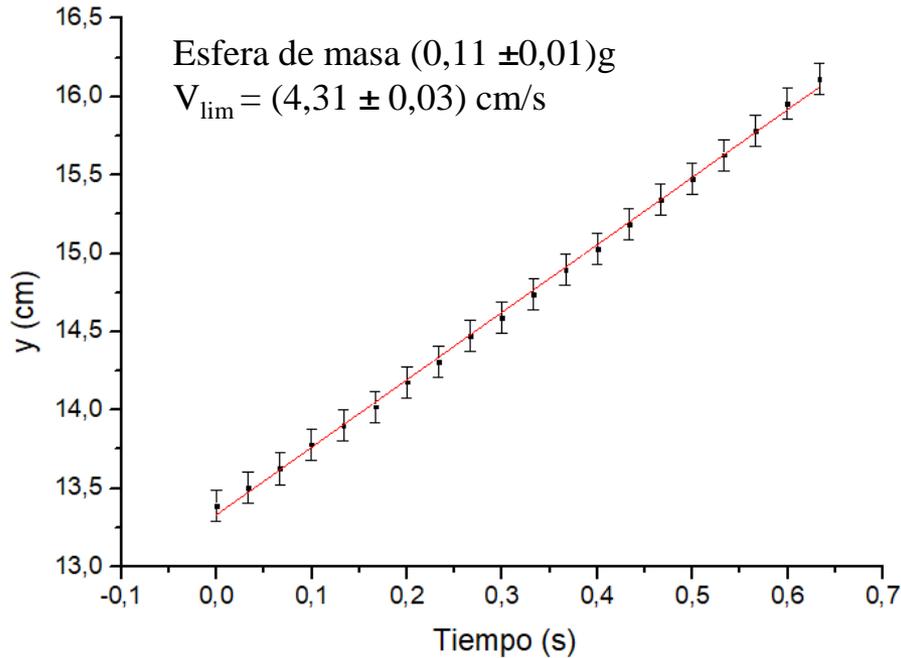
$$v_{\text{lim}} = \left(1 + 2.4 \frac{R}{r_{\text{tubo}}} \right) \cdot v_{\text{medido}} \quad (7)$$

[1] <https://www.scielo.br/j/rbef/a/n9xYrqqHWDvSkGbSyNxfSZB/?lang=es#>

¡A medir!

3) Resultados y análisis

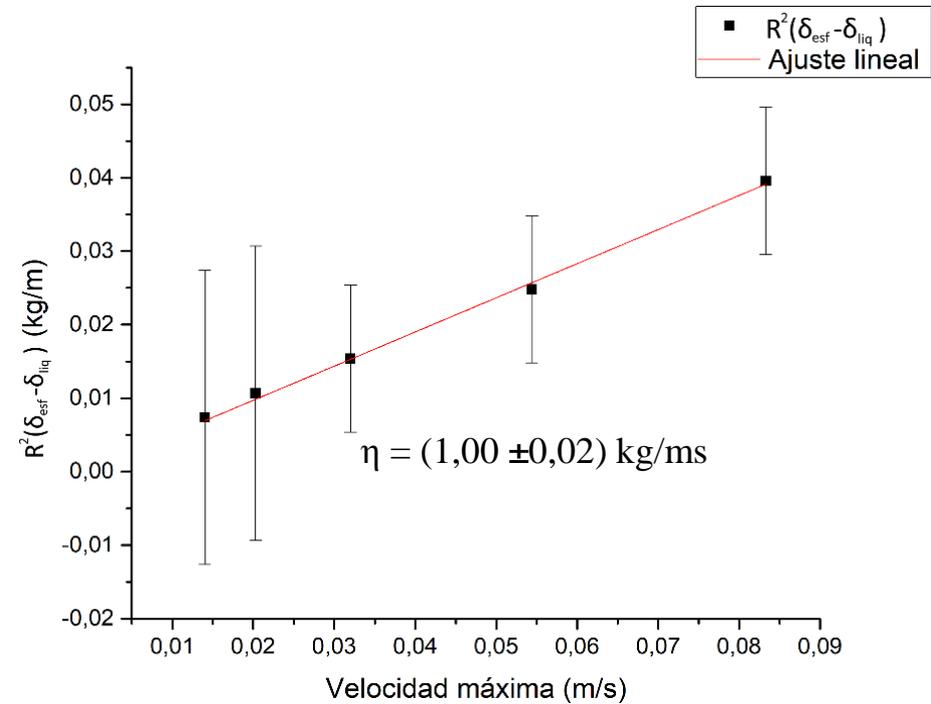
• Gráfico de posición vs t



Bolita	Radio (cm)	Masa (g)	Volumen(cm^3)	Densidad ($\frac{g}{\text{cm}^3}$)
1	$0,0975 \pm 0,0025$	$0,04 \pm 0,01$	$0,00388 \pm 0,00030$	$10,30 \pm 2,69$
2	$0,1025 \pm 0,0025$	$0,11 \pm 0,01$	$0,00451 \pm 0,00033$	$24,39 \pm 2,85$
3	$0,1475 \pm 0,0025$	$0,12 \pm 0,01$	$0,01344 \pm 0,00068$	$8,93 \pm 0,87$
4	$0,2025 \pm 0,0025$	$0,51 \pm 0,01$	$0,0348 \pm 0,0013$	$14,66 \pm 0,61$
5	$0,3975 \pm 0,0025$	$2,08 \pm 0,01$	$0,2631 \pm 0,0050$	$7,91 \pm 0,15$

Tabla 1. Radio, masa, volumen y densidad de cada una de las bolitas utilizadas.

• Gráfico de $R^2(\delta_{esf} - \delta_{liq})$ vs V_{lim}



*A mayor radio, la v aumenta (ver ec 4).

*Valores de referencia:

$\eta_{agua} = 1E-3 \text{ Kg/m.s}$

$\eta_{glicerina} = 1,5 \text{ Kg/m.s}$