departamento de física
universidad de buenos aires - exactas
Juan José Giambiagi

Clase 07:
Viscosidad en fluidos

Laboratorio de física 1 para químicos

1er cuatrimestre 2022

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**, es empuje es igual al peso del líquido desalojado:

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

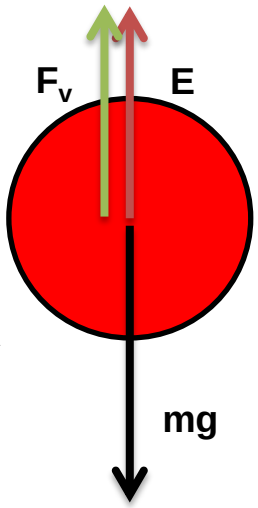
•Siendo δ_{liq} la densidad del líquido y V_C el volumen del cuerpo sumergido.

•Por otra parte, si el cuerpo se mueve aparece una fuerza viscosa (F_v) que se opone al movimiento del cuerpo

•Para el caso de una <u>esfera en un flujo laminar</u>, la **Ley de Stokes** afirma que:

$$F_v = 6\pi\eta R v \qquad \textbf{(2)}$$

•Donde η es el coeficiente de viscosidad del fluido, R el radio de la esfera y ν la velocidad.



Esquema

1) Explicación teórica: Viscosidad en fluidos

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

$$mg - E - F_v = ma \qquad \textbf{(3)}$$

•Si mg> E+Fv, el cuerpo acelera y aumenta su velocidad.
•Al aumentar la velocidad, aumenta la fuerza viscosa y se reduce la aceleración.
•En el límite, mg=E+Fv la aceleración es nula y la **velocidad** alcanza su valor **límite** (v_{lim}).
•Para el caso de una esfera perfecta, con volumen $V_c = 4/3\ \pi R^3$, estando en el caso límite (a=0 y $v = v_{lim}$) y reemplazando E y F_v por las expresiones (1) y (2) respectivamente en (3), entonces se puede reescribir (3) como:

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

•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:

$$\ddot{x} = \beta - \alpha . \dot{x} \qquad \textbf{(5)}$$

•Donde: $\alpha = 6/m.\pi .r. \eta$ y $\beta = 4/3. \pi. r^3/m.g. (\delta_{esfera} - \delta_{líquido})$

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

$$\boxed{x(t) = v_{lim}.t} + v_{lim}\, \alpha \exp(-\alpha t) \qquad \textbf{(6)}$$

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

• 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.

•**Actividad:** *Determinación de* v_{lim} y 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 el programa de análisis y obtener v_{lim} del ajuste por cuadrados mínimos. **Observación**: se va a obtener un v_{lim} por cada esfera.

e)Luego graficar v_{lim} vs $R^2(\delta_{esf} - \delta_{liq})$ 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.

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

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

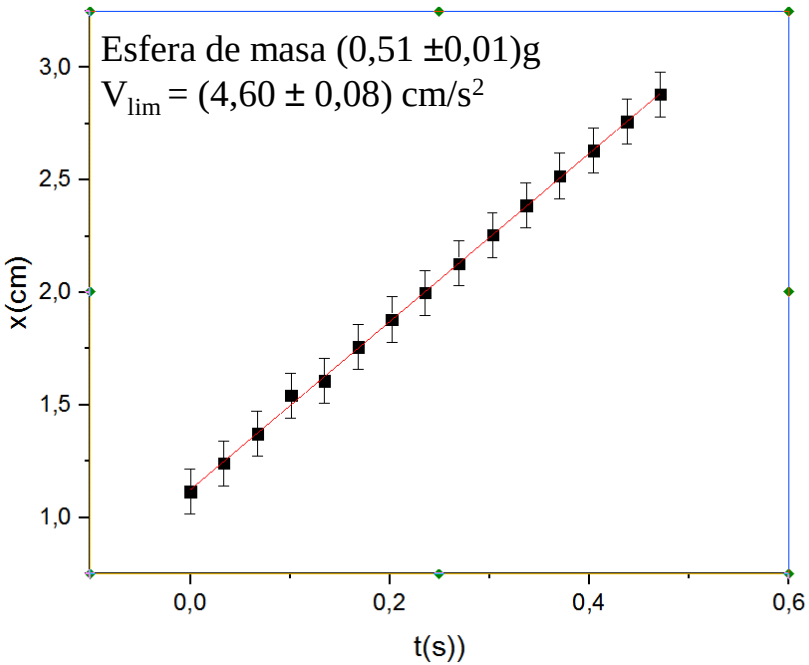
$$v_{lim} = \left(1 + 2.4\frac{R}{r_{tubo}}\right).v_{medido} \qquad \textbf{(7)}$$

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

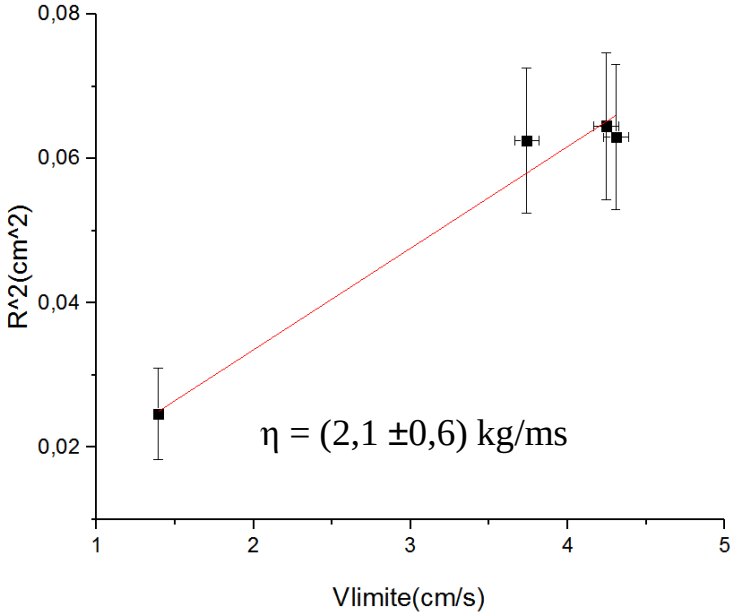
¡A medir!

3) Resultados y análisis

- Gráfico de posición vs t



- Gráfico de R^2 vs v_{lim}



*A mayor radio, la v aumenta (ver ec 6).

*Valores de referencia:

ηagua= 1E-3 Kg/m.s

ηglicerina= 1,5 Kg/m.s