

Laboratorio QFII

Viscosidad de Gases

OBJETIVOS

- Estudiar el transporte de cantidad de movimiento en gases mediante la determinación del coeficiente de viscosidad del mismo. Para ello se medirá la pérdida de carga en un tubo capilar por donde circula un gas en régimen laminar y se utilizará la ecuación de Hagen-Poiseuille.
- Relacionar este coeficiente de transporte, a través de la teoría cinética aplicada a un modelo de gas de esferas duras, con parámetros microscópicos de los gases estudiados, tales como diámetro de colisión y camino libre medio.

Conceptos: transferencia de momento, teoría cinética de los gases, viscosidad, camino libre medio,

INTRODUCCIÓN

Todo fenómeno de transporte en gases puede interpretarse como la transferencia de alguna cantidad física (calor, materia, cantidad de movimiento) por efecto de alguna fuerza impulsora (gradiente de temperatura, concentración o velocidad). El flujo (J) de calor, masa o cantidad de movimiento es proporcional al gradiente correspondiente, y la constante de proporcionalidad es el coeficiente de transporte (k):

$$J = k \cdot \text{grad}(X) \quad (1)$$

A nivel microscópico el proceso de transporte ocurre a través de las colisiones entre moléculas que provienen de una zona del gas con una determinada temperatura, concentración o cantidad de movimiento, con moléculas que tienen un valor diferente de estas propiedades, de modo que en el momento de la colisión se produce la transferencia.

En el caso particular del fenómeno viscoso (transporte de cantidad de movimiento), lo que se transporta es cantidad de movimiento y la fuerza impulsora es un gradiente de velocidad. El caso más sencillo es el de un fluido entre dos placas planas; al aplicar una fuerza constante en la dirección de una de las placas se genera un gradiente de velocidades en la dirección perpendicular a las mismas.

Las moléculas están en continuo movimiento térmico y las que atraviesan un plano imaginario entre las placas viniendo de la zona de mayor velocidad transportan mayor cantidad de movimiento que

las que atraviesan dicho plano viniendo de la región de menor velocidad.

El coeficiente de viscosidad es el coeficiente de transporte relacionado a este proceso:

$$J_{mv} = \eta * \nabla V_z \quad (2)$$

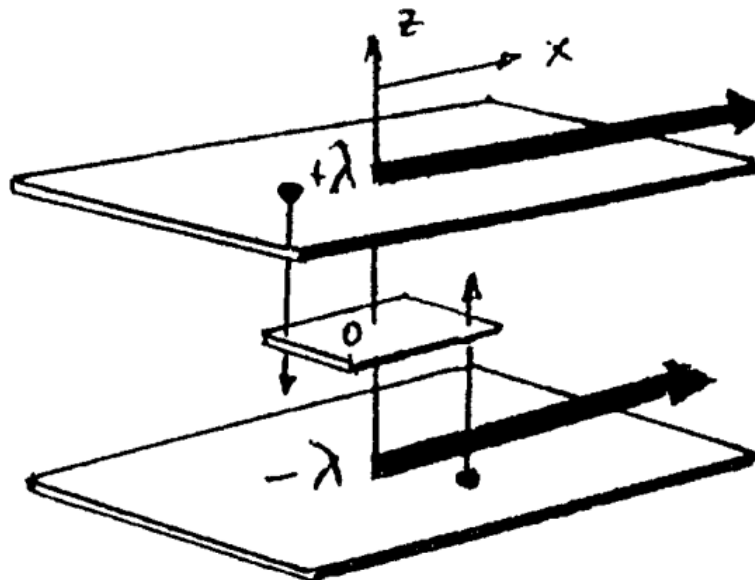
y, en la teoría cinética aplicada, a un gas de esferas duras de diámetro σ es posible obtener la siguiente expresión para η :

$$\eta = \frac{1}{3} \lambda c m n = \frac{2(mkT)^{(1/2)}}{3\pi n \sigma^2} \quad (3)$$

donde

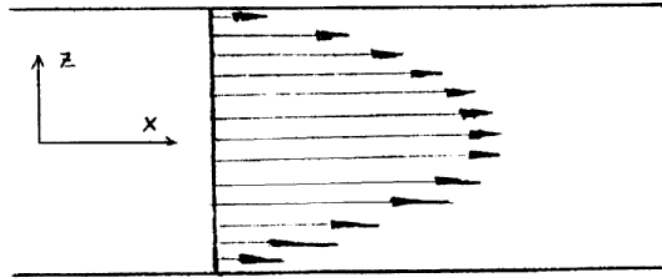
$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi n \sigma^2} \quad (4)$$

es el camino libre medio, c es la raíz cuadrada de la velocidad cuadrática media, m es la masa molecular y n es la densidad numérica del gas (número de partículas por unidad de volumen).



Fundamento del método

En la práctica, la forma más sencilla de generar un gradiente de velocidades controlado en un fluido es mediante la circulación de un caudal de fluido a través de un tubo en régimen laminar. El perfil de velocidades que se genera tiene la forma indicada en la siguiente figura:



Para que el régimen sea laminar (y no turbulento) es necesario que un parámetro fluidodinámico como el número de Reynolds, definido como:

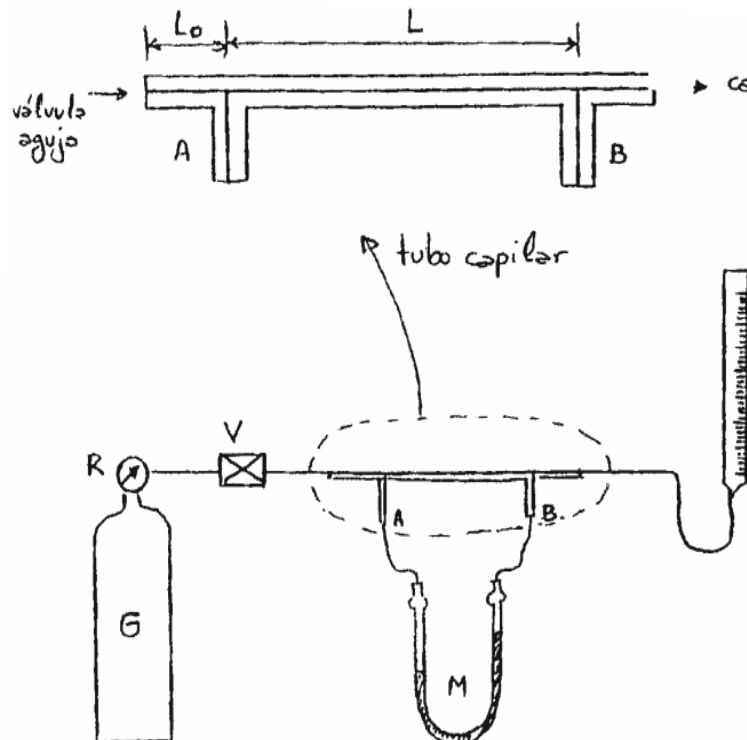
$$Re = \frac{2G\rho}{\pi R\eta} \quad (5)$$

sea menor que 2100. En la ecuación anterior, G es el caudal volumétrico de fluido, R es el radio del tubo, ρ la densidad del fluido y η su viscosidad.

Cuando el régimen es laminar, la diferencia de presión Δp entre dos puntos del tubo de radio R separados por una distancia L, viene dada por la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$G = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8\eta L} \quad (6)$$

El equipo utilizado en la práctica consta de un cilindro de gas (G) en cuya salida hay conectada una válvula de aguja (V) que permite regular el caudal con mucha precisión. El sistema se completa con el tubo capilar de radio conocido. Entre dos puntos de este capilar se encuentra conectado un manómetro diferencial (M) y a la salida del tubo hay un caudalímetro de burbuja (C).



La diferencia de presión entre los dos puntos del capilar está relacionada con la diferencia de altura (Δh) de las dos ramas del manómetro diferencial por la ecuación:

$$\Delta p = \rho_m g \Delta h \quad (7)$$

donde ρ_m es la densidad del líquido manométrico y g es la aceleración de la gravedad ($9,80665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

El método consiste en determinar Δp para varios valores del caudal y de la pendiente de un gráfico de G vs. Δp se determina η con la ecuación de Hagen-Poiseuille.

Debe notarse que la aplicación de la ecuación de Hagen-Poiseuille supone la ausencia de efectos de borde. En la práctica se necesita una longitud de entrada L_0 (medida desde el comienzo del tubo) del orden de $0,035 \cdot D \cdot \text{Re}$ (donde D es el diámetro del capilar) para que se formen los perfiles de velocidad parabólicos.

PARTE EXPERIMENTAL

1. Apertura del cilindro de gas bajo supervisión del docente encargado de la práctica.
2. Ajuste de la presión de trabajo: calcular previamente la máxima caída de presión que en su aparato asegura un flujo laminar. Tome este valor como cota superior. Fije una diferencia de presión con la válvula aguja y manténgala constante.
3. Lectura del caudal: se realiza después de verificar que la caída de presión en el manómetro es estable. Realice entre 5 y 6 lecturas de caudal para cada valor de Δp elegido y promedie el valor.
4. Determinar el valor de la temperatura ambiente.
5. Repetir este procedimiento para 7 u 8 caudales distintos comenzando con la máxima diferencia de presión que asegure régimen laminar.

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

1. Se grafica G vs. Δp (o Δh) y se obtiene el valor del coeficiente de viscosidad del gas por cuadrados mínimos, con su respectivo error.
2. Utilizando la expresión (3) se calcula el diámetro de colisión (σ) para cada molécula.
3. Considerando al gas dentro del capilar a la presión exterior $p + \Delta p/2$, se obtendrá el camino libre medio a la temperatura de trabajo para ambos gases.

CUESTIONARIO DE ORIENTACIÓN

1. ¿Por qué no se mide la diferencia de presiones entre los extremos del tubo capilar?
2. Estime el error con que mide cada variable y analice el efecto de cada una sobre el error final en la determinación de la viscosidad, el diámetro de colisión y el camino libre medio.
3. Estime el error en la medida del coeficiente de viscosidad si la temperatura, ambiente varía 5 K, y decida si es necesario hacer la experiencia en un termostato.

4. Defina flujo laminar y turbulento. ¿Qué parámetro determina la transición de uno a otro?
5. Si el flujo de gas es de $80 \text{ cm}^3/\text{min}$, su densidad es de $1,2 \text{ g/dm}^3$ a la temperatura y presión de trabajo, su coeficiente de viscosidad $2 \cdot 10^4$ poise y fluye a través de un capilar de $1,2 \text{ mm}$ de diámetro: ¿qué clase de régimen de flujo existe? ¿Cuál es el valor máximo de caudal para tener régimen laminar en estas condiciones? ¿Cuánto debe valer la longitud de entrada para que se formen perfiles de velocidad parabólicos en ambos casos?
6. Por un tubo horizontal de 30 cm de longitud y $2,5 \text{ mm}$ de diámetro interno, fluye glicerina a $26,5^\circ\text{C}$. Para una caída de presión de $2,957 \text{ kg/cm}^2$ la velocidad de flujo es $1,883 \text{ cm}^3/\text{s}$. A partir de estos datos calcular la viscosidad de la glicerina, comprobando a posteriori que el flujo es laminar.
7. Defina fluido newtoniano y no newtoniano. Defina viscosidad dinámica y cinemática. Indique las unidades usuales y las del S.I.
8. Deduzca la ecuación de Hagen-Poiseuille y establezca las condiciones de validez. Dé el perfil de velocidades de un fluido en un tubo cilíndrico en flujo laminar.
9. Uno de los métodos de determinar el radio de un tubo capilar consiste en medir la velocidad de flujo de un fluido viscoso a través del tubo. Hallar el radio de un capilar a partir de los siguientes datos: $L = 50,02 \text{ cm}$: viscosidad cinemática del fluido = $4,03 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$; densidad del fluido = $0,9552 \text{ g/cm}^3$; caída de presión = $4,829 \cdot 10^5 \text{ M/m}^2$ y velocidad del flujo de masa = $2,997 \cdot 10^{-9} \text{ kg/s}$. ¿Cuál es el principal inconveniente de este método? Sugiera otros métodos de determinación de radios de tubos capilares.
10. Indique cómo varía la viscosidad de líquidos y gases con la temperatura.
11. Según la teoría cinética, indique cómo dependen de la presión y de la temperatura las siguientes propiedades: viscosidad, conductividad térmica, difusión, camino libre medio, velocidad molecular media, diámetro de colisión.
12. ¿Cuáles son las diferencias entre las predicciones de los coeficientes de transporte por la teoría cinética simple y la teoría refinada?
13. Indique cómo se determinan experimentalmente los otros coeficientes de transporte de los gases. ¿Existe alguna relación entre estos coeficientes transporte?

BIBLIOGRAFÍA

1. P. W. Atkins, Fisicoquímica, Fondo Educativo Interamericano. 1985.
2. G. Castellan, Physical Chemistry.
3. R. B. Bird, W. E. Stewart y E. N. Lightfoot; Fenómenos de transporte. Cap. 2, Wiley, 1960.
4. J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss y R. B. Bird; The molecular theory of gases and liquids, Wiley, 1954.
5. W. Kauzmann; Teoría cinética de los gases, Benjamin, 1966.