

Fenómenos de Transporte 1

Ejercicios Agosto – Diciembre 2016

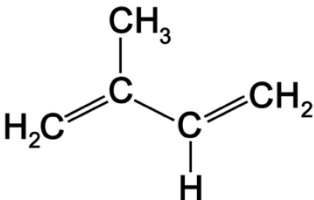
EJERCICIO 1

El cloro puro Cl_2 se emplea frecuentemente como parte de los procesos de tratamiento de agua residual, haciéndolo burbujear directamente en el agua para que se disuelva y degrade la materia orgánica y los microorganismos presentes. Estimar la viscosidad del cloro gaseoso a 25 °C y 3.5 atm, aplicando: **(A)** la teoría cinética de Chapman-Enskog, y **(B)** el método de Stiel y Thodos.

RESPUESTA: (A) $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (B) $1.37 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

EJERCICIO 2

El isopreno (nombre IUPAC: 2-metil-1,3-butadieno) es un compuesto orgánico sintetizado por muchas plantas que forma la unidad estructural de muchos compuestos de importancia biológica. Fue obtenido inicialmente a partir de la degradación térmica del hule natural. Actualmente se produce alrededor de 800 mil toneladas al año como subproducto de la descomposición térmica del petróleo y como subproducto de la producción de etileno. Un 95% del isopreno producido se convierte en cis-1,4-poli-isopreno (una versión sintética del hule natural).

ISOPRENO 	Fórmula molecular	C_5H_8
	Número CAS	78-79-5
	Punto de fusión	-120 °C
	Punto de ebullición	34 °C
	Temperatura crítica	211 °C
	Presión crítica	38.5 bar
	Volumen molar crítico	$277 \text{ cm}^3/\text{mol}$
	Factor acéntrico	0.158
	Densidad de líquido a 20°C	0.681 g/cm^3

Aplicando la teoría cinética de Chapman y Enskog, estimar la viscosidad del vapor de isopreno a 47 °C y 1 atm.

RESPUESTA: $7.66 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

EJERCICIO 3

Estimar la viscosidad del argón a 20 °C y 400 bar.

RESPUESTA: 449 μP

EJERCICIO 4 – OPCIONAL

Estimar la viscosidad de m-xileno líquido a 140 °C, empleando el método de Przedziecki y Sridhar.

RESPUESTA: 0.232 cP

EJERCICIO 5

Calcular la viscosidad de una mezcla de 24% mol amoníaco y 76% mol hidrógeno a 33°C. A dicha temperatura, la viscosidad del H_2 es 90.6 μP y la viscosidad del NH_3 es 105.9 μP .

RESPUESTA: 106.9 μP

OPCIONAL: Construir una gráfica de la conductividad térmica de mezclas de amoníaco e hidrógeno a 33°C en función de la fracción mol de NH_3 .

EJERCICIO 6

Estimar la viscosidad a temperatura ambiente de una mezcla líquida con 33% peso de acetonitrilo y 67% peso de acetato de butilo. La viscosidad de los componentes puros a temperatura ambiente es 0.37 y 2.98 cP, respectivamente.

RESPUESTA: 0.885 cP

EJERCICIO 7

Los siguientes datos corresponden a mediciones del comportamiento reológico en estado estable de una solución acuosa de alginato de sodio al 1.5% adicionada con 0.5% de goma gelan (Corral Martínez, 2009).

rapidez de deformación	s^{-1}	0.396	0.660	0.792	1.32	1.98	2.64	3.30	3.96	5.28	6.6	7.92	13.2	15.8	26.9	39.6	66.0	79.2	132
esfuerzo cortante	dina/cm ²	0.04	0.06	0.08	0.16	0.24	0.36	0.46	0.51	0.69	0.85	1.03	1.66	1.98	3.05	4.32	6.47	7.46	10.8

Corral Martínez (2009). "Velocidad de sedimentación de óxido de zirconio dispersado en alginato de sodio adicionado con goma gelan". Residencia profesional, Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Durango.

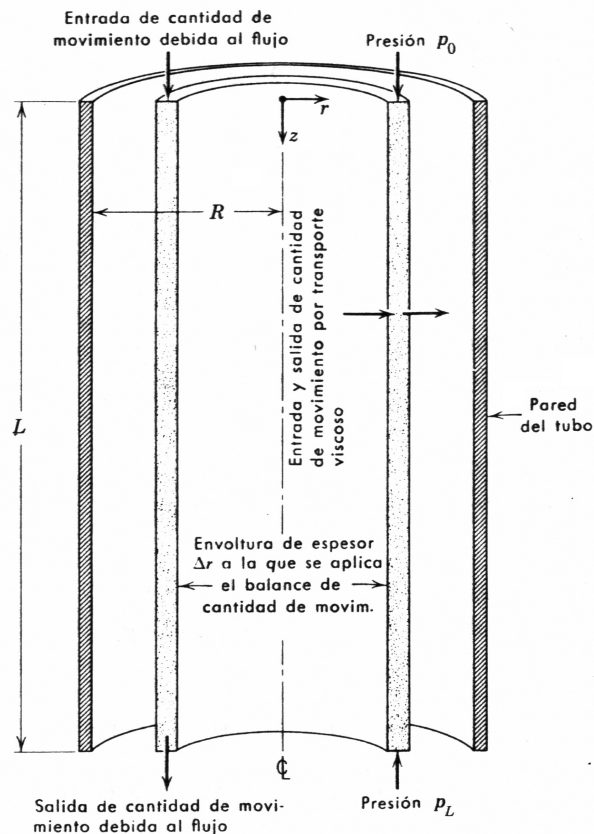
Generar el gráfico esfuerzo-deformación para este fluido, y determinar los parámetros reológicos correspondientes al modelo de la potencia.

RESPUESTA: $n = 0.9766$, $K = 0.011931 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$

EJERCICIO 8

Adaptado de Bird (1960).

Considérese un fluido newtoniano en el interior de una tubería cilíndrica vertical, moviéndose laminarmente en estado estable debido a la fuerza de gravedad o a una diferencia de presiones (o ambas). Efectuar un balance diferencial de momentum en una envoltura cilíndrica de espesor Δr y longitud L , para determinar el perfil de velocidades. Determínese también la velocidad máxima, la velocidad media, y el flujo volumétrico.



$$\text{RESPUESTA: } v_z = \frac{(P_0 - P_L)R^2}{4\mu L} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right], \quad \dot{V} = \frac{\pi(P_0 - P_L)R^4}{8\mu L}$$

(donde $\mathcal{P} \equiv P - \rho g z$)

EJERCICIO 9

El espacio entre dos cilindros coaxiales se encuentra lleno con un fluido newtoniano incompresible a temperatura constante. Los radios de las superficies interna y externa que se encuentran en contacto con el líquido son κR y R respectivamente ($\kappa < 1$). Las velocidades angulares de rotación del cilindro interno y el cilindro externo son Ω_1 y Ω_2 respectivamente. Se puede asumir que la velocidad de rotación es baja (flujo reptante), de tal forma que se puede despreciar los términos de advección. Determinar el perfil de velocidades del fluido en estas condiciones. NOTA: Recordar que la velocidad tangencial es igual al producto de la velocidad angular por el radio de giro.

$$\text{RESPUESTA: } v_\theta = \frac{\kappa R}{1 - \kappa^2} \left[(\Omega_2 - \kappa^2 \Omega_1) \left(\frac{r}{\kappa R} \right) + (\Omega_1 - \Omega_2) \left(\frac{\kappa R}{r} \right) \right]$$

EJERCICIO 10

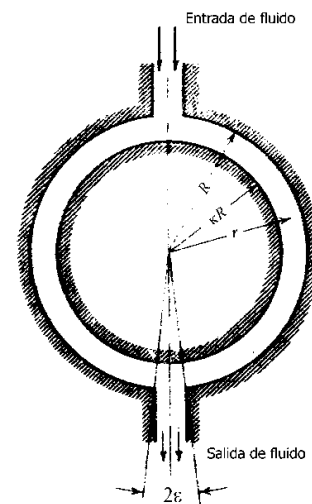
Adaptado de Bird (1960).

Un fluido newtoniano muy viscoso fluye en el espacio $\kappa R \leq r \leq R$ (con $0 < \kappa < 1$) entre dos esferas concéntricas, como se muestra en la figura. Se desea hallar la velocidad de flujo en el sistema en función de la diferencia de presión que se le aplica. Supóngase que $v_\theta = v_\theta(r, \theta)$ y que $v_r = 0$ y $v_\phi = 0$. Despréciense además la gravedad y los efectos en los extremos.

(A) Demostrar, utilizando la ecuación de continuidad, que $v_\theta \sin \theta = u(r)$, siendo $u(r)$ una función aún desconocida.

(B) Escribir el componente θ de la ecuación de movimiento para este sistema, suponiendo velocidades de flujo suficientemente bajas, de forma que pueda despreciarse los términos de advección. Demostrar que esta ecuación queda reducida a:

$$0 = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{du}{dr} \right) \right]$$



(OPCIONAL) Esta ecuación diferencial parcial se puede separar en las dos siguientes ecuaciones diferenciales ordinarias, donde B es una constante de separación:

$$\sin \theta \frac{dP}{d\theta} = B \quad \quad \frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{du}{dr} \right) = B$$

Resolver dichas ecuaciones diferenciales para llegar a los siguientes resultados:

$$\Delta P = B \ln \left(\frac{1 - \cos \varepsilon}{1 + \cos \varepsilon} \right) = -BE(\varepsilon) \quad \quad \text{donde } E(\varepsilon) = -\ln \left(\frac{1 - \cos \varepsilon}{1 + \cos \varepsilon} \right)$$

$$u = \frac{R \Delta P}{2\mu E(\varepsilon)} \left[\left(1 - \frac{r}{R} \right) + \kappa \left(1 - \frac{R}{r} \right) \right] \quad \quad v_\theta(r, \theta) = \frac{R \csc \theta \Delta P}{2\mu E(\varepsilon)} \left[\left(1 - \frac{r}{R} \right) + \kappa \left(1 - \frac{R}{r} \right) \right]$$

siendo ΔP la diferencia de presión entre los extremos.

EJERCICIO 11

Adaptado de White, "Fluid Mechanics", 2ª edición, McGraw-Hill, 1986.

Se tiene un fluido que obedece el modelo de la ley de la potencia, escurriendo en flujo laminar por una pared vertical formando una capa de espesor constante δ . Determine una expresión para el perfil de velocidades en función de x .

$$\text{RESPUESTA: } v_z(x) = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\rho g}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \delta^{\frac{n+1}{n}} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{x}{\delta} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \right\}$$

EJERCICIO 12

Adaptado de White, "Fluid Mechanics", 2ª edición, McGraw-Hill, 1986.

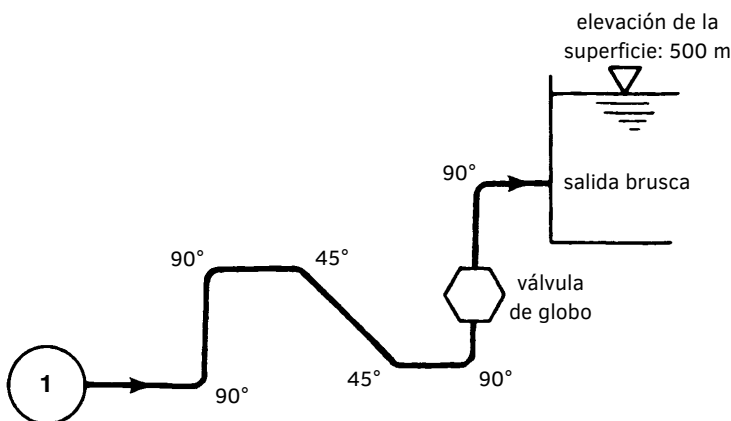
Se desea regar un jardín empleando una manguera de 30 m de longitud, que tiene un diámetro interno de $\frac{1}{2}$ plg y una rugosidad de 0.01 plg. ¿Cuál será el flujo de agua, en litros por minuto, si la presión del agua donde se conecte la manguera es $4.2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ (manométrica)?

RESPUESTA: 20.2 LPM

EJERCICIO 13

Adaptado de White, "Fluid Mechanics", 2ª edición, McGraw-Hill, 1986.

El sistema mostrado en la figura consta de 1200 metros de tubería de hierro fundido de 2 plg cédula 40, dos codos de 45° y cuatro de 90° (de radio largo, con bridas), una válvula de globo completamente abierta, y una salida brusca en el depósito. Si la elevación en el punto 1 es 400 m, qué presión manométrica es necesaria en el punto 1 para obtener un flujo de 300 LPM hacia el depósito? El fluido es agua a 20°C .

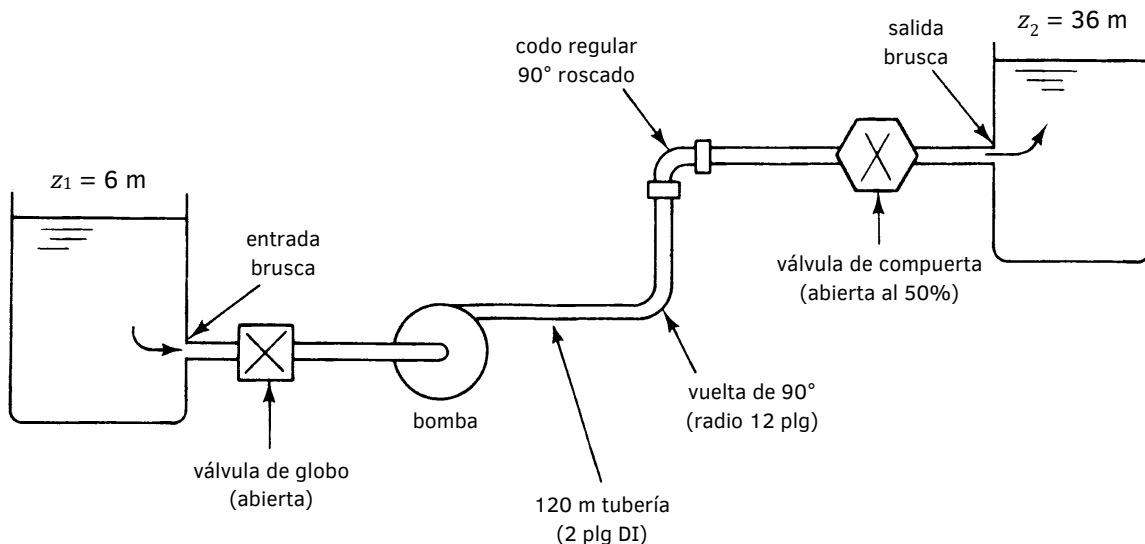


RESPUESTA: 27.8 atm

EJERCICIO 14 – OPCIONAL

Adaptado de White, "Fluid Mechanics", 2ª edición, McGraw-Hill, 1986.

Se bombea agua ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$, $0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) de un depósito a otro, a razón de 570 litros por minuto, a través de 120 m de tubería de 2 plg (diámetro interno) y varios accesorios, como se muestra en la figura. La rugosidad relativa de la tubería es 0.001. Determinar la potencia necesaria de la bomba, si tiene una eficiencia del 70%.



RESPUESTA: 12 kW