



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE TERMODINÁMICA Y
FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA**

**PROBLEMARIO
FENÓMENOS DE TRANSPORTE I
(TF 1221)**

Septiembre 2004

Capítulo 1 - Introducción a la Mecánica de Fluidos.

1-1.- Clasifique qué tipo de fluido se tiene cuando, sometido a diferentes tasas de deformación a temperatura constante, se obtienen experimentalmente los siguientes esfuerzos cortantes:

Substancia							
A	du/dy (s^{-1})	0	1	3	5		
	τ (lbf/pie ²)	15	20	30	40		
B	du/dy (s^{-1})	0	3	4	6	5	4
	τ (lbf/pie ²)	2	4	6	8	6	4
C	du/dy (s^{-1})	0	0,5	1,1	1,8		
	τ (lbf/pie ²)	0	2	4	6		
D	du/dy (s^{-1})	0	0,3	0,6	0,9	1,2	
	τ (lbf/pie ²)	0	2	4	6	8	

1-2.- Un espacio de 2,5 cm de ancho entre dos superficies planas de gran área está lleno de glicerina a 20°C ($\mu=1,494$ Pa s). ¿Qué fuerza se necesita para halar, a una velocidad de 0,15 m/s, una placa de espesor despreciable y 0,5 m² de área ubicada a una distancia equidistante de las dos superficies? ¿Cuál sería la fuerza necesaria si la placa se ubicase a 1 cm de una de las superficies?

Respuestas: 17,9 N; 18,6 N.

1-3.- Una placa delgada muy grande se centra en un espaciamento de 0,06 m de anchura con diferentes aceites de viscosidades desconocidas arriba y debajo; una viscosidad es el doble de la otra. Cuando se hala la placa a una velocidad de 0,3 m/s, la fuerza resultante sobre 1 m² de placa debida al esfuerzo de corte viscoso en ambos lados, es de 29 N. Suponiendo un flujo viscoso y despreciando todos los efectos de extremo, calcular las viscosidades de los aceites.

Respuestas: 966,7 mPa s; 1933,3 mPa s.

1-4.- Un bloque cúbico de 0,2 m de arista tiene una masa de 2 kg. El bloque se desliza sobre un plano inclinado 30° con respecto a la horizontal. Entre el bloque y el plano existe una película muy delgada de aceite SAE-30 a 20°C ($\mu=0,45$ Pa.s). La película tiene 0,02 mm de espesor y el perfil de velocidades dentro de ella se puede suponer lineal con la posición perpendicular al plano. Eventualmente, el bloque alcanza una velocidad de deslizamiento constante, denominada velocidad terminal. Explique por qué esto ocurre y determine el valor de dicha velocidad.

Respuesta: 1,09 cm/s.

1-5.- Cuando un automóvil frena sobre pavimento mojado, los cauchos pueden momentáneamente deslizar sobre una película delgada de agua. Si los cauchos están lisos, el movimiento del agua entre los cauchos y el suelo puede aproximarse al del flujo entre dos placas infinitas paralelas, cuando la placa superior se mueve a velocidad constante. Si el área efectiva de contacto entre los cauchos y el

Fenómenos de Transporte I

pavimento es 1500 cm^2 y el espesor de la película de agua es $0,02 \text{ mm}$, exprese la fuerza de arrastre que ejerce la película de agua sobre el automóvil en función de su velocidad. Considerando que, durante el proceso de frenado, la única fuerza que actúa sobre el automóvil es la ejercida por la película de agua y suponiendo que la relación fuerza de arrastre - velocidad es la misma aún si la velocidad cambia, calcule el tiempo que se requeriría para desacelerar un automóvil de 1000 kg desde 100 hasta 10 km/hr si se mantuviese la película de agua entre los cauchos y el pavimento. Determine además la distancia recorrida. Utilice 1 cp como viscosidad del agua.

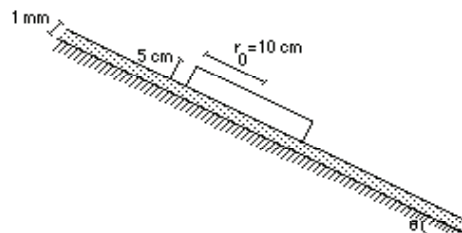
Respuestas: 307 s ; $3,3 \text{ km}$.

1-6.- Los siguientes datos experimentales de esfuerzos cortantes vs. tasa de deformación fueron obtenidos para una solución acuosa de un polímero de sulfato de celulosa sódica al 6% en peso, a una temperatura de $24,5^\circ\text{C}$:

$du/dy \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$\tau \text{ (Pa)}$	$du/dy \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$\tau \text{ (Pa)}$
0,23	5,5	5,8	52
0,29	7,0	7,2	57
0,36	8,5	9,1	63
0,46	11,0	11,5	69
0,58	13,0	14,5	74
0,72	15,0	18,0	80
0,91	17,5	23,0	85
1,15	20,5	29,0	92
1,45	24,0	36	100
1,80	27,5	46	108
2,30	31,5	58	113
2,90	36,0	72	120
3,60	41	91	130
4,60	46		

- (a) Grafique la viscosidad del fluido en función de la tasa de deformación.
 (b) ¿Existe un rango de tasas de deformación para el cual el fluido pueda considerarse newtoniano?
 (c) ¿Existe un rango en el que el fluido se comporte según el modelo de la potencia? Si es así, determine las constantes del modelo.
 (d) Si el fluido es utilizado en un proceso en el que la tasa de deformación es de 5000 s^{-1} , estime la viscosidad aparente a dicha condición. ¿Cree Ud. que el valor calculado es confiable?

1-7.- Un disco de 10 cm de radio y 5 cm de espesor descansa sobre una película de 1 mm de espesor de un fluido tipo Bingham, la cual está extendida sobre un plano inclinado (ver figura). El disco está hecho de un material con densidad de 2000 kg/m^3 . El esfuerzo de cedencia del fluido es de $\tau_0=600 \text{ Pa}$ y su viscosidad es $\mu= 80 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.



Fenómenos de Transporte I

(a) Determine el máximo valor del ángulo de inclinación (θ_{\max}) para que el disco no deslice.

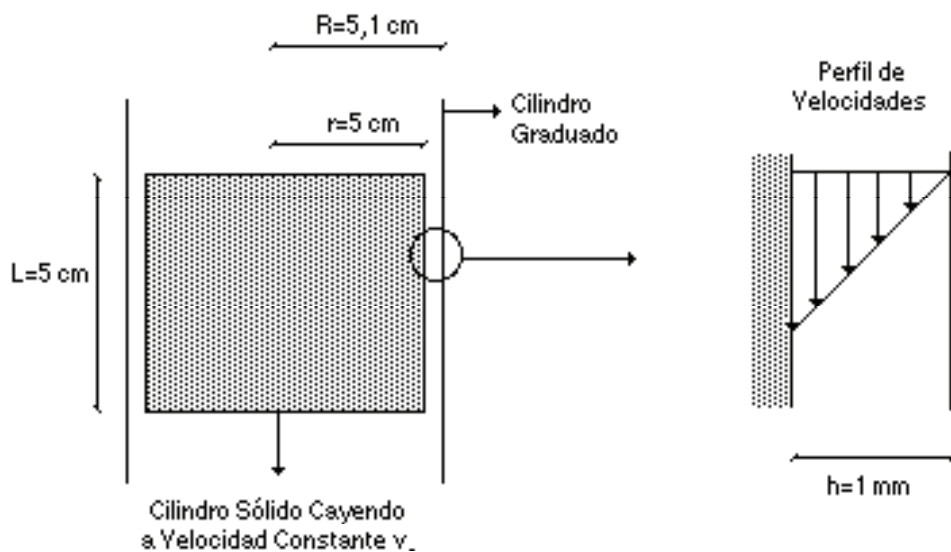
(b) Si $\theta=2\theta_{\max}$, determine la velocidad límite a la que se mueve el disco sobre el plano. El perfil de velocidades en la capa de fluido entre el disco y el plano puede considerarse lineal, una vez que se establece el movimiento.

Respuestas: (a) $37,7^\circ$, (b) 4,37 m/s.

1-8.- Se desea recubrir por ambos lados una cinta magnética de cassette con un material protector que, en el momento de la aplicación, es un fluido con comportamiento newtoniano. Con este fin se hace pasar la cinta a través de una hendidura muy estrecha. La cinta tiene 0,04 cm de espesor y 0,5 cm de ancho. Se centra la cinta en la hendidura dejando una holgura de 0,03 cm en cada lado. El recubrimiento, cuya viscosidad es 1 Pa.s, llena completamente el espacio que existe entre la cinta y la pieza que forma la hendidura a lo largo de 2 cm. Si la cinta puede soportar una fuerza máxima de tensión de 100 N antes de romperse, determine la velocidad máxima a la cual se puede hacer pasar la cinta a través de la hendidura.

Respuestas: 150 m/s.

1-9.- Un método experimental para determinar la viscosidad de fluidos newtonianos consiste en dejar caer un cilindro sólido concéntricamente en el interior de un cilindro graduado que se encuentra lleno de fluido. El cilindro sólido alcanza una velocidad límite de caída (v_0) y, por tener ambos cilindros diámetros muy similares, el espacio entre ellos se puede aproximar a un espacio entre dos placas planas paralelas (ver figura). La distribución de presiones en el fluido puede considerarse igual a la que existe en condiciones estáticas.



En un fluido cuya densidad es de 1700 kg/m^3 se deja caer un cilindro de 700 g. Se ha determinado que el cilindro cae una distancia de 40 cm en un tiempo de 2 s. Determine la viscosidad del fluido. No olvide tomar en cuenta la fuerza de empuje.

Respuesta: 0,101 Pa. s

1-10.- Un método para caracterizar la reología de fluidos se basa en colocar un fluido entre dos placas paralelas y ejercer una fuerza longitudinal (F) sobre una de las placas para llevarla a una

Fenómenos de Transporte I

velocidad límite (v). Al utilizar un aparato basado en este principio para el cual la distancia de separación entre las placas es de 0,03 mm se ha determinado que, si el fluido es agua a 20°C ($\mu=1 \text{ mPa s}$), cuando la fuerza ejercida es de 0,12 N, la velocidad límite es de 1 cm/s. En el mismo aparato se coloca un fluido tipo Bingham y se realizan dos experimentos para dos niveles de fuerzas aplicadas diferentes, obteniéndose los siguientes resultados:

$F=17,4 \text{ N}$ corresponde a una velocidad de 1 cm/s

$F=29,4 \text{ N}$ corresponde a una velocidad de 2 cm/s

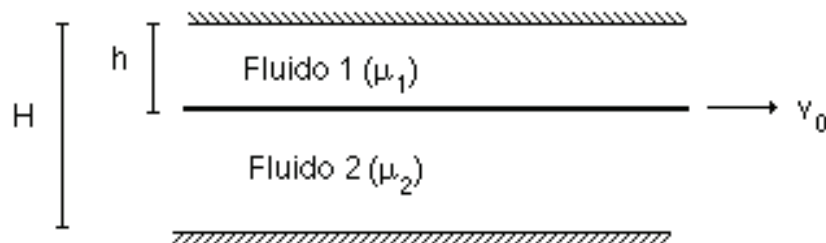
Determine la viscosidad aparente y el esfuerzo de cedencia de dicho fluido.

Respuestas: 0,1 Pa. s; 15 N/m².

1-11.- Un deporte oficial de las olimpiadas de invierno que es popular en países de altas latitudes es el 'bobsledding'. Dicho deporte consiste en dejar deslizar un vehículo (trineo) sobre una pista de hielo inclinada. Los vehículos tienden a alcanzar velocidades muy altas. El peso del vehículo ejerce una presión sobre el hielo que es mayor que la presión de saturación líquido-sólido del agua, lo que hace que el hielo se funda formando una película muy delgada de agua entre el fondo del vehículo y el hielo. Se desea estimar el espesor de la película de agua sobre la cual se desliza el vehículo. Se sabe que la inclinación de la pista es de unos 30° con respecto a la dirección horizontal y que el vehículo alcanza una velocidad máxima de 100 km/hr. Suponga que el área de contacto entre el fondo del vehículo y la película de agua es de 0,5 m² y que la masa total de vehículo más ocupante es de 80 kg. La viscosidad del agua a 0°C es de 2 mPa s. Especifique las suposiciones realizadas.

Respuesta: 71 μm .

1-12.- Una cinta muy delgada desea recubrirse por ambos lados con dos fluidos 1 y 2 de viscosidades diferentes. La cinta se coloca entre dos placas separadas una distancia H . Se halará la cinta mediante la aplicación de una fuerza horizontal de magnitud fija F . Determine a qué distancia (h) debe colocarse la cinta de la placa superior para que la velocidad de recubrimiento (v_0) sea la máxima posible.



Respuesta:

$$h = \frac{H}{1 + \sqrt{\mu_2/\mu_1}}$$

Capítulo 2 - Estática.

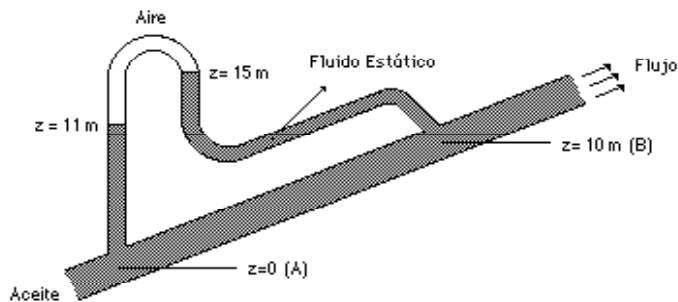
2-1.- Una fuerza expresada por $\mathbf{F} = 4\mathbf{i} + 3\mathbf{j} + 9\mathbf{k}$ actúa sobre un área cuadrada de 2×2 en el plano x - y . Descompóngase esta fuerza en una componente normal y una tangencial. ¿Cuáles son la presión y el esfuerzo cortante?

Respuestas: (a) 2,25 Pa, (b) 1,25 Pa

2-2.- Determine la presión en un punto 10 m debajo de la superficie libre en un fluido que tiene una densidad variable dada por la ecuación: $\rho = 450 + ah$ (kg/m^3), donde $a = 12 \text{ kg/m}^4$ y h es la distancia en m medida desde la superficie libre, si la presión atmosférica es de 101 kPa.

Respuesta: 151 kPa.

2-3.- Determine la diferencia de presión entre los puntos A y B de la figura, sabiendo que la densidad del aceite es 850 kg/m^3 .



Respuesta: 50 kPa.

2-4.- Si el aire puede considerarse un gas con comportamiento ideal y la temperatura de la atmósfera varía linealmente con la altura, $T = T_0 - \alpha z$ ($\alpha > 0$), derive una expresión para la presión atmosférica en función de la altura (z), despreciando el movimiento del aire y la rotación de la Tierra.

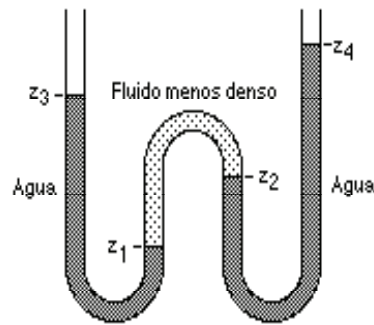
Un globo meteorológico de 3 m de diámetro contiene 3,5 kg de helio. Usando los resultados obtenidos anteriormente, con $\alpha = 0,015 \text{ K/m}$, determine el valor de la altitud hasta la cual se elevará el globo. Considere que $T_0 = 298 \text{ K}$, el diámetro del globo es constante y la masa del mismo es de 5 kg.

Respuesta:

$$(a) P = P_0 \left(\frac{\alpha z - T_0}{\alpha z_0 - T_0} \right)^{gM/R\alpha}, \quad (b) 8,5 \text{ km.}$$

2-5.- La gravedad específica de fluidos con densidad menor pero cercana a la del agua se determina usando un arreglo como el mostrado en la figura. Halle una expresión para la gravedad específica del fluido de menor densidad en función de las alturas z_1 .

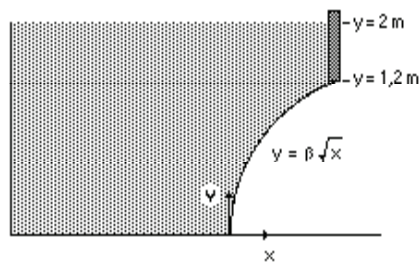
Fenómenos de Transporte I



Respuesta:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{(z_4 - z_2) - (z_3 - z_1)}{z_1 - z_2}$$

2-6.- Determine las componentes horizontal y vertical de la fuerza neta por unidad de ancho que se ejerce sobre la compuerta curva mostrada en la figura. Tome para el cálculo $\beta=1 \text{ m}^{0,5}$. El líquido es agua a 20°C.



Respuestas: $F_x=16,5 \text{ kN/m}$; $F_y=-16,9 \text{ kN/m}$.

2-7.- Determine la fuerza vertical ejercida por la atmósfera sobre una montaña de forma perfectamente cónica, cuya altura es de 2000 m y el radio de la base es de 5500 m. El aire atmosférico puede considerarse un gas con comportamiento ideal y la temperatura de la atmósfera varía linealmente con la altura, $T = 303,15 - 0,015 z$ (z en m y T en K). La presión de la atmósfera en la base de la montaña es de 101 kPa. La constante universal de los gases es $R=8,314 \text{ kJ/kmol K}$ y el peso molecular del aire es 28,95 kg/kmol.

Respuesta: $8,9 \times 10^6 \text{ MN}$.

2-8.- Se desea construir un laboratorio submarino de gran profundidad en el Océano Atlántico para estudiar especies animales en los ambientes de alta presión típicos de las profundidades. Determine la fuerza neta vertical que actúa sobre el laboratorio, estableciendo claramente cualquier suposición que utilice en su desarrollo. El laboratorio tiene forma de medio cilindro con las dimensiones señaladas en la figura. Su presión interna se desea mantener en $P_i = 120000 \text{ Pa}$. La densidad del agua de mar varía con la temperatura de acuerdo con la relación

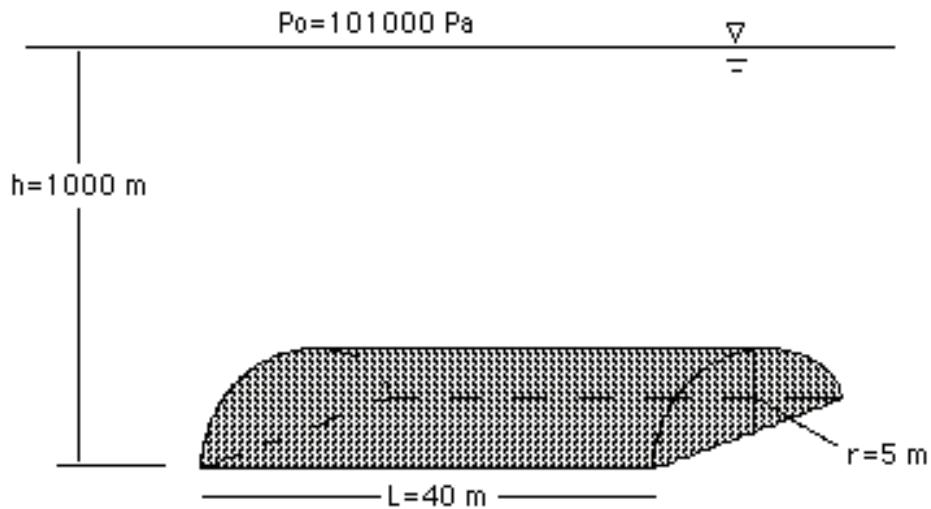
$$\rho=1034,5 - 0,4514 T, \quad T \text{ en } ^\circ\text{C} \text{ y } \rho \text{ en } \text{kg/m}^3$$

La temperatura del agua varía con la profundidad como sigue

$$T=17,7 - 0,0095 z$$

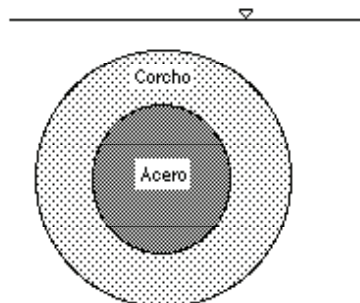
Fenómenos de Transporte I

donde T está en $^{\circ}\text{C}$ y z es la distancia vertical desde el punto en que se evalúa T hasta la superficie libre, en m.



Respuesta: 4025 MN.

2-9.- Una esfera de 8 cm de radio, compuesta por dos capas concéntricas de acero y corcho impermeable está ligeramente sumergida debajo de la superficie del agua, como se muestra en la figura. Determine el máximo valor del radio de la esfera interior de acero para que la esfera no se hunda. La densidad del corcho es de 45 kg/m^3 , la del acero es de 7800 kg/m^3 y la del agua es de 1000 kg/m^3 .



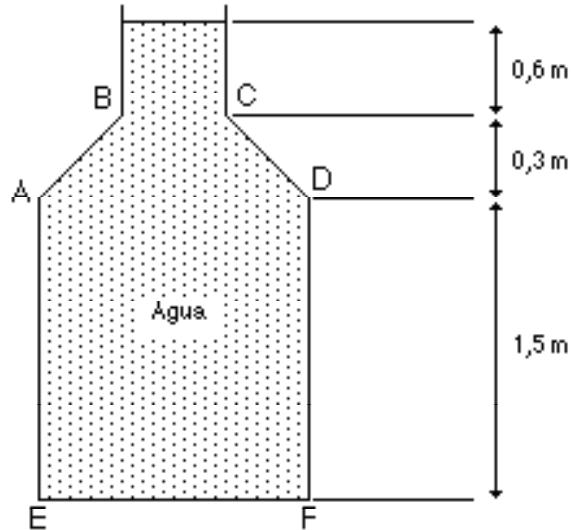
Respuesta: 4 cm.

2-10.- Se ha diseñado un globo aerostático para ser utilizado con fines recreacionales. El globo se elevará llenándolo de aire caliente, el cual será proporcionado por un quemador de combustible, ubicado sobre la canasta. La carga del globo será de tres personas (masa total: 200 kg), la canasta de 50 kg, el quemador de 20 kg, 50 kg de combustible y el material del cual está construido el globo de masa 150 kg. Puede considerarse que, al estar lleno de aire caliente, el globo es una esfera de 10 m de radio. Para determinar el tipo de quemador a utilizar, se desea conocer la temperatura mínima a la que debe estar el aire dentro del globo para que éste pueda elevarse. Considere que el volumen de la canasta y su carga es despreciable, la presión atmosférica es de 101 kPa y la temperatura ambiente es de 25°C . Puede suponerse que la presión en el interior del globo es igual a la atmosférica y que el aire se comporta idealmente (peso molecular del aire: $28,95 \text{ kg/kmol}$, $R=8,314 \text{ kJ/kmol K}$).

Respuesta: $56,4^{\circ}\text{C}$.

Fenómenos de Transporte I

2-11.- El recipiente mostrado en la figura está formado por dos secciones cilíndricas de diámetros 1,2 y 0,6 m, unidas por una sección cónica. Determine la fuerza hacia arriba ejercida por el agua sobre la sección cónica ABCD. ¿Cuál es la fuerza hacia abajo sobre el plano EF? ¿Es esta fuerza igual al peso del fluido? ¿Por qué?

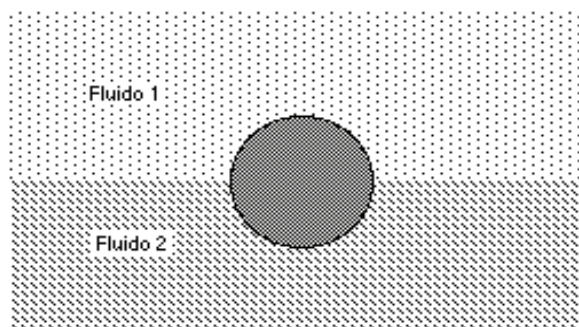


Respuestas: $F_{EF} = 140,8 \text{ kN}$; $F_{ABCD} = 92,0 \text{ kN}$.

2-12.- La figura muestra una esfera sólida de densidad ρ_s que se encuentra en equilibrio entre dos fluidos 1 y 2 (con densidades ρ_1 y ρ_2 , respectivamente). En el estado de equilibrio mostrado, la mitad de la esfera está sumergida en cada fluido. Comienza a calentarse lentamente el fluido 2 y, debido a las variaciones que experimenta su densidad, la cual disminuye al aumentar la temperatura, la esfera se desplaza hacia un nuevo estado de equilibrio. Puede suponerse que durante el proceso de calentamiento del fluido 2, las densidades del fluido 1 y el sólido permanecen constantes. Determine:

(a) La densidad de la esfera (ρ_s) en función de las densidades de los fluidos.

(b) La densidad a la que debe llegar el fluido 2 (ρ_{2f}) para que un cuarto del volumen de la esfera esté sumergido en un fluido y tres cuartos en el otro. ¿Cuál será el fluido en el que la esfera se sumergirá más?



2-13.- Un iceberg es una gran masa de hielo ($\rho = 920 \text{ kg/m}^3$) flotando parcialmente en el mar ($\rho = 1030$)

Fenómenos de Transporte I

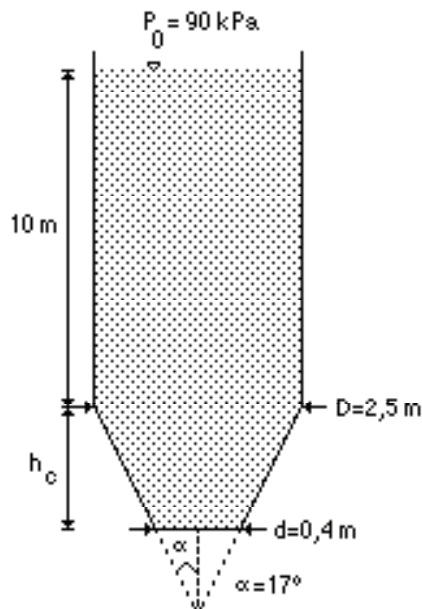
kg/m^3 para el agua de mar). Determine el porcentaje del volumen total del iceberg que no se encuentra sumergido.

Respuesta: 10,7%.

2-14.- Dos pescadores aseguran haber pescado 5000 kg de pescado en una sesión de pesca. El bote usado en la pesca puede considerarse un semicilindro de radio 1 m y longitud 4 m. Su masa, incluyendo motor, combustible y aperos de pesca es 1800 kg. Además, cada pescador tiene una masa de 70 kg. Determine la veracidad de lo afirmado por los pescadores. La densidad del agua de mar es de 1050 kg/m^3 .

Respuesta: Imposible, en esas condiciones el bote se hundiría.

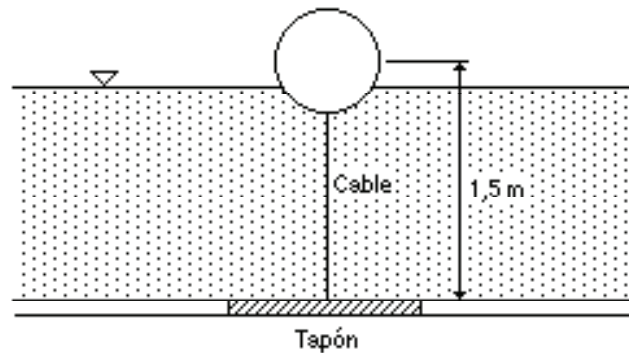
2-15.- Con el fin de estudiar el comportamiento de cierto tipo de reactor químico a una escala industrial, se desea construir una columna constituida por una sección cilíndrica de 2,5 m de diámetro y una sección cónica truncada con semiángulo de apertura de 17° . La columna se llenará con un lodo cuya densidad es de 1500 kg/m^3 , como se indica en la figura. Para la selección del material de construcción, se desea determinar la fuerza que el fluido ejercerá sobre las paredes de la sección cónica. En la parte superior, la columna está abierta a la atmósfera



Respuesta: 1,2 MN.

2-16.- La figura muestra una válvula de flotador. Al superar el agua el nivel de 1,5 m, se desea que el tapón se eleve. Determine el diámetro de la esfera del flotador necesario para que esto ocurra. El tapón es un disco de 25 cm de diámetro y espesor de 2,5 cm, hecho de un material con una densidad de 7500 kg/m^3 . Considere que tanto el cable como la esfera tienen masas despreciables con respecto a la del tapón y que, en su parte inferior, el tapón está sometido a presión atmosférica. La esfera del flotador se encuentra sumergida a la mitad.

Fenómenos de Transporte I



Respuesta: 0,68 m.

2-17.- ¿Por qué un balance de fuerzas en una burbuja de agua jabonosa, formada por una película de líquido de espesor despreciable, lleva al resultado

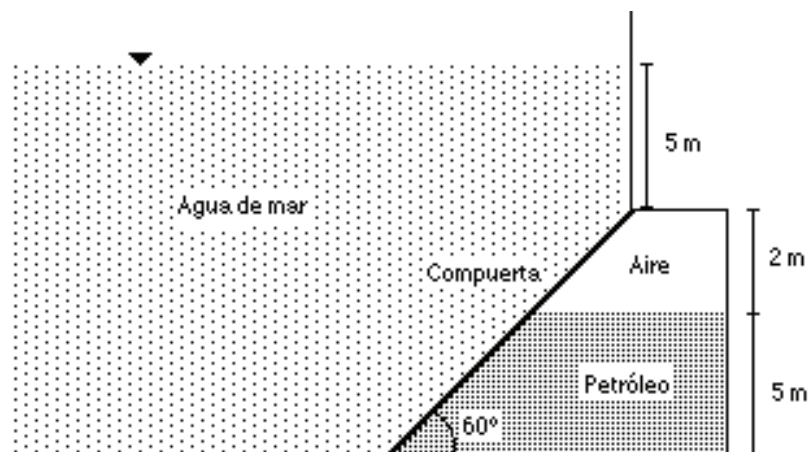
$$\Delta P = \frac{4\sigma}{r}$$

cuando una pequeña gota esférica de líquido obedece la relación

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{r}$$

donde ΔP es la diferencia entre las presiones interna y externa, σ es la tensión superficial, y r es el radio?

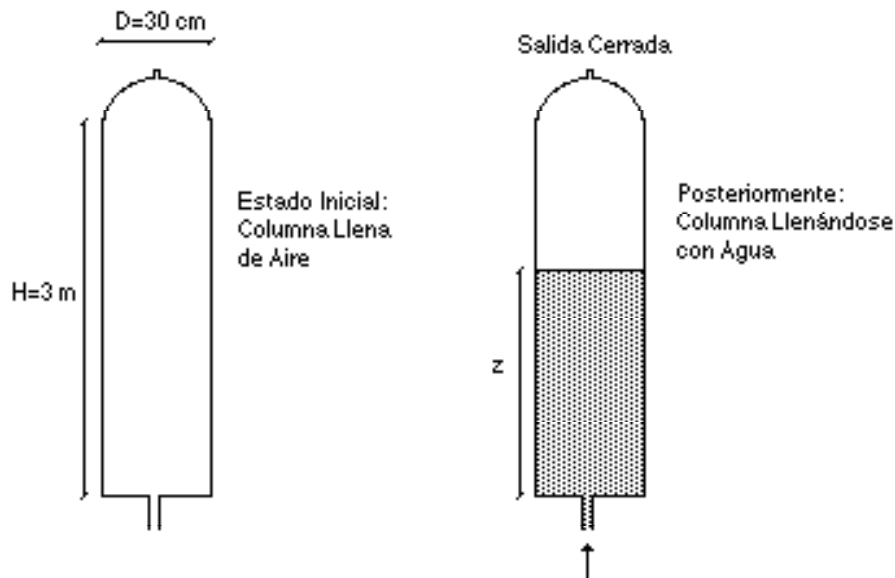
2-18.- La compuerta que se muestra en la figura tiene 3 m de ancho y está sumergida en agua de mar. Dicha compuerta se utiliza como pared de un tanque submarino para almacenar petróleo. El tanque es hermético y contiene aire a una presión absoluta de 200 kPa. La densidad del agua de mar es de 1050 kg/m³, en tanto que la del petróleo es de 850 kg/m³. La presión atmosférica es de 101 kPa. Determine la fuerza neta que los fluidos ejercen sobre la compuerta para las condiciones presentadas en la figura. Halle la posición del nivel del agua de mar para el cual la fuerza neta ejercida sobre la compuerta es nula.



Respuestas: (a) $F=639$ kN; (b) $h=16,4$ m.

Fenómenos de Transporte I

2-19.- Una columna cilíndrica de 3 m de altura y 30 cm de diámetro termina en una cúpula hemisférica de 30 cm de diámetro. Para realizar un experimento se desea llenar la columna de agua. Por error, el operador mantuvo la salida superior de la columna cerrada durante el proceso de llenado (ver figura) permitiendo así que la presión del aire encerrado sobre el agua aumentara. Cuando la altura de llenado llegó a $z=2,5$ m, la cúpula estalló violentamente. Determine la fuerza neta vertical que el aire ejercía sobre la cúpula hemisférica en el momento de su ruptura. El proceso de llenado se realizó a una temperatura de 20°C ; la presión atmosférica es de 88 kPa. Considere que el aire se comporta idealmente.



Respuesta: 25,9 kN.

2-20.- Dos burbujas esféricas de gas, de radios R_1 y R_2 están suspendidas en un líquido. Las burbujas coalescen para formar una nueva burbuja esférica de radio R . Suponga que las burbujas son lo suficientemente pequeñas como para considerar que la presión alrededor de ellas es uniforme (P_0). Si la tensión interfacial del sistema gas - líquido es σ y el gas puede considerarse ideal, determine una expresión que permita calcular el radio de la burbuja resultante si:

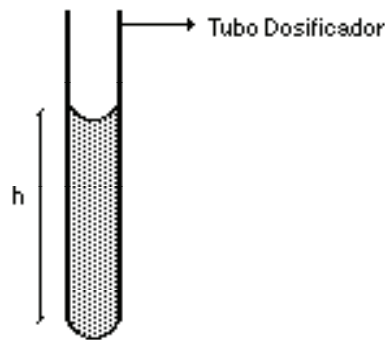
- (a) Inicialmente, las presiones de ambas burbujas son iguales
- (b) Inicialmente, las presiones de ambas burbujas son diferentes

Respuesta:

$$(a) \quad R^3 P_o + 2\sigma R^2 = P_o (R_1^3 + R_2^3) \quad (b) \quad R^3 P_o + 2\sigma R = P_o (R_1^3 + R_2^3) + 2\sigma (R_1^2 + R_2^2)$$

2-21.- Se utiliza un tubo capilar de 1 mm de radio para dosificar una cierta cantidad de un compuesto químico medicinal a un paciente. Al terminar la dosificación, una parte del líquido queda atrapada en el tubo debido a efectos interfaciales, tal como se muestra en la figura. Por ser el líquido muy costoso se desea cuantificar la cantidad retenida en el tubo. Considere que el menisco superior es una porción de esfera (ángulo de contacto: 10°) y el menisco inferior es la mitad de una esfera de radio igual al del tubo. El líquido tiene una tensión superficial de 60 mN/m y una densidad de 900 kg/m^3 . Considere además que ambos meniscos están en contacto con la atmósfera. Determine la altura de equilibrio (h).

Fenómenos de Transporte I

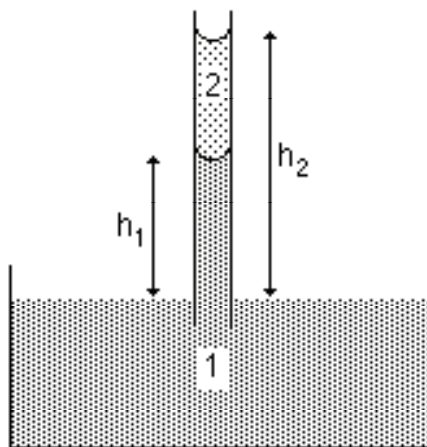


Respuesta: 2,7 cm.

2-22.- Se desea determinar la tensión interfacial entre dos líquidos 1 y 2 (γ). Con este fin se utiliza el arreglo mostrado en la figura, donde se coloca una cierta cantidad de líquido 2 sobre líquido 1 en un tubo capilar. Suponiendo que los meniscos son de forma esférica, ambos con radio igual al radio del tubo capilar, demuestre que

$$\gamma = \frac{r\rho_2g}{2}(h_2 - h_1) + \frac{r\rho_1gh_1}{2} - \sigma$$

donde r es el radio del tubo capilar, ρ_1 y ρ_2 son las densidades de los fluidos, g es la aceleración de gravedad y σ es la tensión superficial del líquido 2.



2-23.- En el fondo de un tanque de profundidad h lleno con un líquido cuya densidad es ρ y tensión superficial σ , se forma una burbuja esférica de aire de radio r_1 . Esta burbuja asciende muy lentamente hasta llegar a la superficie del líquido, donde la presión es la atmosférica (P_0).

(a) Halle una expresión que permita calcular, partiendo de los parámetros mencionados, el radio que tiene la burbuja al llegar a la superficie, r_2 . Considere que el aire en el interior de la burbuja se comporta idealmente y que la temperatura del sistema es uniforme.

(b) Considérese que el líquido es agua ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=74 \text{ mN/m}$), que la presión atmosférica es de 89 kPa y que la profundidad del tanque es de 3 m. Determine el valor de r_2 para una burbuja cuyo radio inicial es $r_1=3 \text{ mm}$. Cuantifique la influencia que sobre el resultado obtenido tiene la tensión

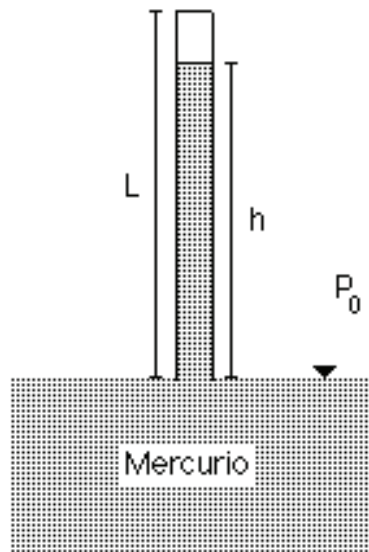
Fenómenos de Transporte I

superficial.

Respuestas:

(a) $P_0 r_2^3 + 2\sigma r_2^2 - (P_0 + \rho gh + \frac{2\sigma}{r_1}) r_1^3 = 0$; (b) 3,3 mm.

2-24.- Un barómetro de mercurio tal como el mostrado en la figura se utiliza para medir la presión atmosférica normal. El barómetro consiste en un tubo de 1 cm de diámetro interno y 770 mm de longitud (L). Cuando en el espacio superior no hay aire, el mercurio asciende una altura $h=760$ mm. Se desea determinar el error que se comete en la lectura del barómetro si se introduce aire al espacio superior. Determine el valor de h si en dicho espacio hay 1 mg de aire. La temperatura ambiente es de 25°C . La densidad del mercurio es de 13600 kg/m^3 . El peso molecular del aire es de $28,95\text{ kg/kmol}$, y la constante universal de los gases es $R=8314\text{ J/kmol K}$. Desprecie efectos de tensión superficial.



Respuesta: 679,54 mm.

2-25.- Cuando un barómetro de mercurio como el mostrado en la figura del problema anterior se construye con un tubo de diámetro muy pequeño, se forma un menisco entre el mercurio y el espacio superior que puede afectar la medida del instrumento. Determine la altura h que alcanza el mercurio en un tubo de 2 mm de diámetro si la presión atmosférica es 1 atm. La tensión superficial del mercurio es de 510 mN/m y el ángulo de contacto del menisco con la pared del tubo es de 130° .

Respuesta: 755,1 mm.

Capítulo 3 - Cinemática.

3-1.- El campo de velocidades de un fluido viene dado por $\mathbf{v} = x \mathbf{i} + y t \mathbf{j}$, y su temperatura es la siguiente función de la posición y el tiempo: $T(x,y,t) = T_0 + xy (1-e^{-t})$, donde T_0 es una constante.

(a) Determine la temperatura medida por un observador que se mueve con el fluido, $T_R(t)$, si dicho observador se encuentra en $t=0$ en el punto $x=y=1$.

(b) Si el observador parte del mismo punto pero moviéndose con una velocidad $\mathbf{w}=\mathbf{i}$, halle la temperatura medida, $T_m(t)$.

Respuesta: a) $T_R(t) = T_0 + e^{t^2/2}(e^t - 1)$; b) $T_m(t) = T_0 + (1+t)(1 - e^{-t})$

3-2.- Si la densidad del aire en la atmósfera está dada por la ecuación

$$\rho = \rho_0 [1 + a(x^2 + y^2) + e^{-bz}]$$

donde:

$$\rho_0 = 1,20 \text{ kg/m}^3$$
$$a = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}$$
$$b = 3,0 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

y la velocidad de un avión relativa a la atmósfera es $\mathbf{w} = 100 \mathbf{i} + 30 \mathbf{j} - 30 \mathbf{k}$ (km/hr), calcule los cambios de la densidad con respecto al tiempo que medirá un observador que se encuentra en el avión en el momento en que el avión se encuentre en un punto cuyas coordenadas son $x=y=0$, $z=4500$ m.

Respuesta: $d\rho/dt = 2,8 \text{ kg/m}^3 \text{ h}$.

3-3.- Dibuje las líneas de corriente en la región $0 \leq y \leq \infty$, $0 \leq x \leq L$, para el siguiente campo bidimensional de velocidades:

$$v_x = y(1-x/L) \quad v_y = y^2/2L$$

¿Es este flujo incompresible?

Respuesta: si es incompresible

3-4.- La tripulación de un submarino está estudiando el comportamiento físico-químico del agua de mar en las cercanías de la desembocadura de un río. A través de los estudios realizados se ha determinado que la salinidad del agua (concentración de sales solubles basada en cloruros) es la siguiente función de la posición,

$$s = 1 + 1,0 \times 10^{-4} (x^2 + y^2) + 0,025 z$$

donde x , y , z están en m y s en g/l. El origen de coordenadas ($x=y=z=0$) es la desembocadura del río en la superficie (z indica profundidad).

Los sensores que integran el sistema de navegación del submarino se han dañado. Sin embargo, desde que el submarino partió de la desembocadura ($t=0$), se midió la salinidad del agua, obteniéndose el resultado

Fenómenos de Transporte I

$$s_m = 1 + 5,0 \times 10^{-3} t + 8,0 \times 10^{-6} t^2$$

donde el subíndice m indica que la propiedad fue medida, s está en g/l y t en s. Si el submarino se ha movido con velocidad constante, determine la componente z de su velocidad.

Respuesta: 0,2 m/s.

3-5.- Dos de las tres componentes de la velocidad de un flujo incompresible son:

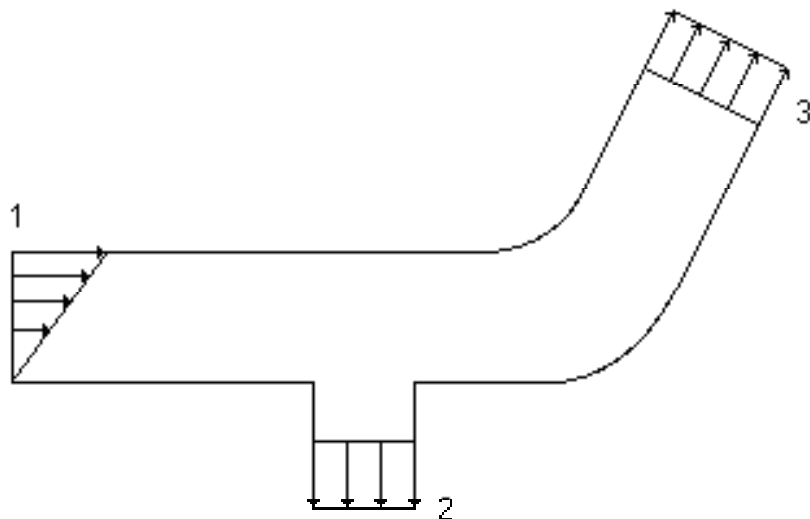
$$v_x = x^2 + 2xz$$

$$v_y = y^2 + 2yz$$

Encuentre la forma más general de la componente v_z que satisface la ecuación de continuidad.

Respuesta: $v_z = f(x,y) - 2xz - 2yz - 2z^2$.

3-6.- La figura muestra los perfiles de velocidad en un codo reductor bidimensional formado por dos placas dobladas .



En la sección 1 la separación entre las placas es de 0,6 m y el perfil de velocidades a través de dicha sección es lineal como se muestra, con una velocidad máxima en la placa superior de 3 m/s. En la sección 2, la separación entre las placas es de 0,3 m y la velocidad es uniforme con un valor de 5 m/s. La separación entre las placas en la sección 3 es de 0,5 m. Si el flujo es incompresible y estacionario, determine la magnitud y dirección de la velocidad en la sección 3.

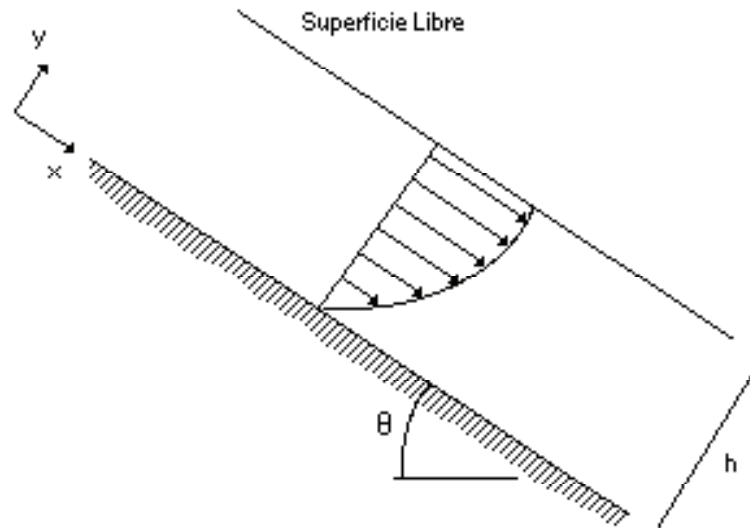
Respuesta: 1,2 m/s; entrando.

3-7.- Una delgada capa de aceite fluye en estado estacionario sobre un plano inclinado (ver figura). El perfil de velocidades está dado por la ecuación

$$v = \frac{\rho g \text{ sen } \theta}{\mu} \left[hy - \frac{y^2}{2} \right]$$

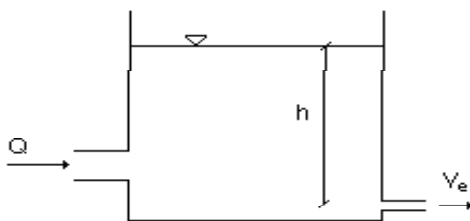
Fenómenos de Transporte I

Encuentre una expresión para el flujo másico por unidad de espesor.



Respuesta:
$$\frac{\dot{m}}{w} = \frac{\rho^2 g \text{sen}\theta h^3}{3\mu}$$

3-8.- Un tanque cilíndrico de diámetro 0,6 m es alimentado con agua a través de una tubería con un flujo volumétrico $Q=0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. El agua sale del tanque por una tubería de 5 cm de diámetro con una velocidad que es función de la altura de la superficie libre, $V_e = 1,38 (gh)^{0,5}$. Inicialmente, la altura que el agua alcanza en el tanque es de 3 m. Derive una expresión que permita calcular la altura del agua en el tanque en función del tiempo. Además, determine el tiempo necesario para que la altura de agua en el tanque sea 1,5 m y la altura que se alcanza en el tanque en estado estacionario.



Para calcular la integral $\int \frac{dh}{a + bh^{1/2}}$ utilice el cambio de variable $u = h^{1/2}$

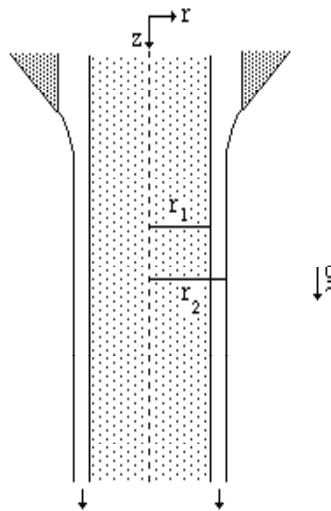
Respuesta: 3,9 minutos, 1,4 m.

Capítulo 4 - Dinámica y Ecuaciones de Movimiento.

4-1.- A través de un ducto de sección cuadrada (5 cm x 5 cm) fluyen 100 lt/hr de agua ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu=1 \text{ mPa s}$). El ducto está abierto a la atmósfera en su parte superior de forma tal que el agua rebosa y cae formando una película sobre las paredes exteriores del ducto. Determine el espesor de dicha película y el perfil de velocidades. Suponga que la interfase agua-aire es recta, despreciando así lo que sucede en la zona de formación de la película. Desprecie las variaciones de espesor de película y velocidad que ocurren cerca de las esquinas del ducto.

Respuestas: $\delta = 0,35 \text{ mm}$; $v_y = \frac{\rho g \delta x}{\mu} \left(1 - \frac{x}{2\delta} \right)$

4-2.- Una película de líquido se forma sobre un cilindro (ver figura). Determine el perfil de velocidades en la película en la región de flujo unidimensional y halle una expresión para calcular el flujo volumétrico. Desprecie los efectos de la tensión superficial en la interfase gas-líquido, así como también los efectos del movimiento del gas.



Respuestas: $v_z = -\frac{\rho g}{4\mu} (r^2 - r_1^2) + \frac{\rho g}{2\mu} (r_2^2) \ln\left(\frac{r}{r_1}\right)$

4.3 Un fluido que sigue el modelo de la potencia se escurre a lo largo de una pared vertical formando una película de espesor h , la cual está en todo momento en contacto con la atmósfera. Determine el perfil de velocidades del fluido y el flujo volumétrico por unidad de ancho. Recuerde que el esfuerzo cortante según el modelo de la potencia viene dado por

$$\tau_{xy} = m \left(\frac{dv_y}{dx} \right)^n$$

donde m y n son constantes, x es la coordenada perpendicular a la pared e y es la coordenada vertical paralela a la pared.

Fenómenos de Transporte I

Respuestas: $v_y = \frac{\beta n}{(1+n)} \left[h^{\frac{(1+n)}{n}} - (h-x)^{\frac{(1+n)}{n}} \right]$; $Q = \frac{\beta n h^{\frac{(1+2n)}{n}}}{1+2n}$; donde $\beta = \left(\frac{\rho g}{m} \right)^{\frac{1}{n}}$

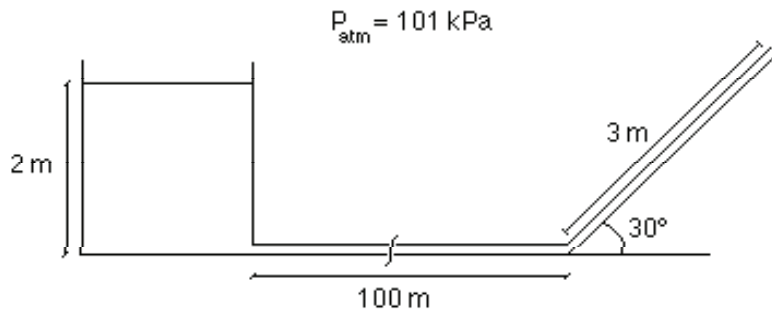
4-4.- La varilla de un agitador es un cilindro de radio R y longitud muy larga. Se introduce el agitador en un fluido newtoniano en reposo y se hace girar la varilla alrededor de su eje a una velocidad angular constante, ω . Suponga que el tanque donde está contenido el fluido es lo suficientemente grande como para considerar que, lejos de la superficie del cilindro, el fluido permanece en reposo. Determine:

- (a) El campo de velocidades del fluido.
- (b) El campo de presiones del fluido.
- (c) La magnitud y dirección de la fuerza por unidad de longitud que el fluido ejerce sobre el cilindro en la dirección tangencial.

Respuestas:

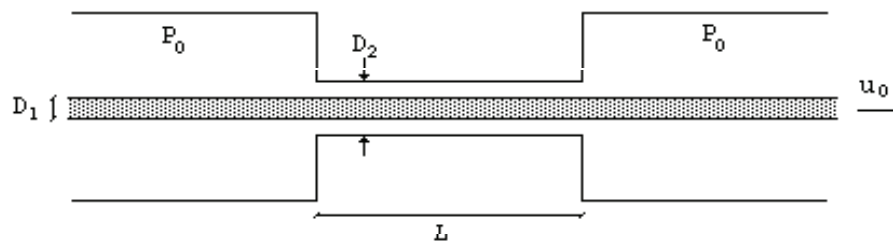
(a) $v_\theta = \frac{\omega R^2}{r}$; (b) $P = K + \rho g z - \frac{\rho \omega^2 R^4}{2r^2}$ (K: constante de integración); (c) $\frac{F}{L} = 4\pi\mu\omega$

4-5.- Con el objeto de regar un sembradío se transporta agua a 25°C desde un depósito situado a cierta distancia, mediante el arreglo mostrado en la figura. Si se desea que la velocidad promedio del agua a la salida de la tubería sea de 0,1 m/s, determine el diámetro mínimo que debe tener la tubería de transporte. Considere que el flujo en las tuberías es unidimensional y estacionario.



Respuesta: 0,14 cm.

4-6.- Dos cámaras están conectadas por un cilindro circular de diámetro D_2 a través del cual se desliza un cable de diámetro D_1 dispuesto concéntricamente (ver figura). Ambas cámaras se mantienen a una presión constante P_0 . Determine expresiones que permitan calcular el flujo volumétrico de fluido entre las dos cámaras y la fuerza requerida para halar el cable. Establezca claramente las suposiciones utilizadas.

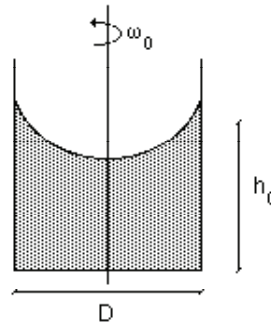


Fenómenos de Transporte I

Respuesta:

$$Q = \pi u_0 \left[\frac{1}{8} \frac{D_1^2 - D_2^2}{\ln(D_1/D_2)} - \frac{D_1^2}{4} \right]; F = \frac{2\pi\mu u_0 L}{\ln(D_2/D_1)}$$

4-7.- Un fluido newtoniano está contenido en un tanque cilíndrico que rota con una velocidad angular ω_0 alrededor del eje central (ver figura). Halle la ecuación que describe la posición de la superficie libre como función de la coordenada radial r . Suponga que el flujo es unidimensional en la dirección θ en todo punto y que los efectos de tensión superficial son despreciables. La altura cuando el fluido está en reposo es h_0 . ¿Cómo sería la forma de la interfase si el fluido siguiera el modelo de Bingham?

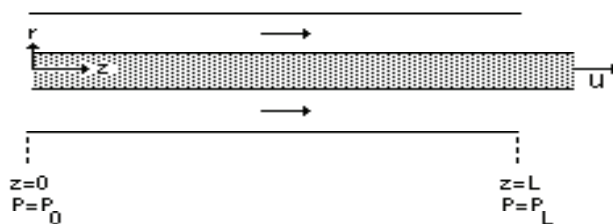


Respuesta:
$$z = h_0 - \frac{\omega_0^2}{4g} \left(\frac{D^2}{4} - 2r^2 \right)$$

4-8.- Un fluido newtoniano está contenido entre dos cilindros concéntricos de radios λR y R ($\lambda < 1$). El cilindro interno rota con una velocidad angular ω . Determine el perfil de velocidades en el espacio anular. Considere que los cilindros son lo suficientemente largos como para despreciar efectos de entrada y salida.

Respuesta:
$$v_\theta = \frac{\omega \lambda^2 R^2}{1 - \lambda^2} \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{R^2} \right)$$

4-9.- En el diseño original de un sistema, se transporta agua en flujo estacionario ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1 \text{ mPa s}$) a través de una tubería horizontal de 1 m de longitud y 4 cm de radio desde un punto a otro, entre los cuales existe una caída de presión por unidad de longitud $(P_0 - P_L)/L = 0,05 \text{ Pa/m}$. Se modifica el diseño original colocando concéntricamente en el interior del tubo de 4 cm de radio un tubo de 2 cm de radio, como se muestra en la figura.

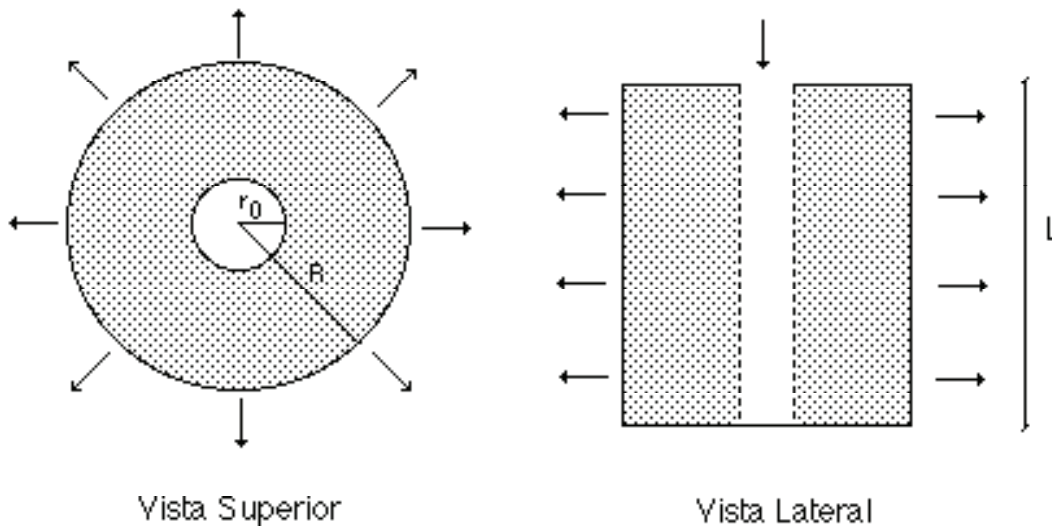


Fenómenos de Transporte I

Si se mantiene la diferencia de presión en los extremos de la tubería y se desea que el flujo volumétrico de agua sea el mismo que en el diseño original, determine a qué velocidad y con qué fuerza se debe halar el tubo interior en la dirección del movimiento del fluido. Especifique en detalle las suposiciones necesarias para resolver el problema. Desprecie efectos gravitacionales.

Respuestas: 3,0 cm/s; 2×10^{-4} N.

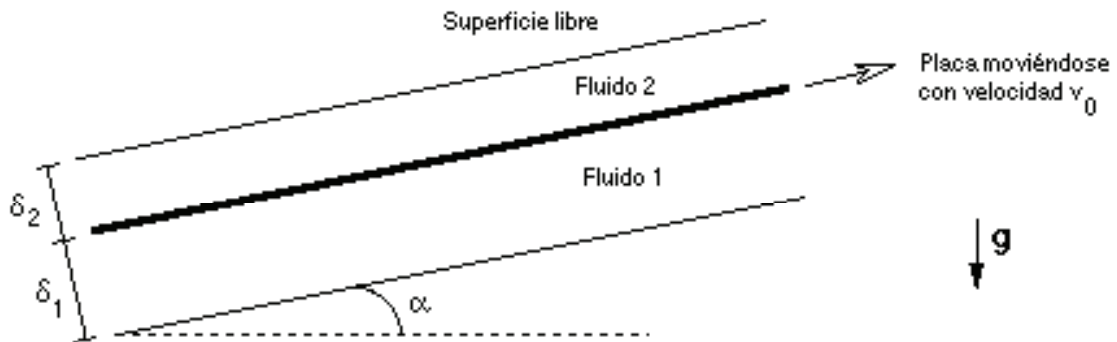
4-10.- Se establece un flujo en la dirección radial en un espacio anular entre dos cilindros concéntricos de longitud L (ver figura). El fluido se introduce al cilindro interior y pasa a través de una placa porosa al espacio anular, para luego salir a través de la pared del cilindro exterior, que es también porosa. Determine el perfil de velocidades radiales, sabiendo que el flujo volumétrico de fluido desde el cilindro interior al espacio anular es Q . Halle también el gradiente de presión en la dirección radial ($\partial P/\partial r$). El fluido es newtoniano, el flujo es incompresible y estacionario. Suponga que el flujo es unidimensional en la dirección radial y que existe simetría angular y axial.



Respuesta: $v_r = \frac{Q}{2\pi L r}$; $\frac{\delta P}{\delta r} = \frac{\rho Q^2}{4\pi^2 L^2 r^3}$

4-11.- En la figura se muestra una placa plana de área muy grande, la cual se separa de un plano inclinado por un aceite (fluido 1; $\mu_1=0,45$ Pa s; $\rho_1=881$ kg/m³), en tanto que sobre ella se extiende otro aceite (fluido 2; $\mu_2=0,09$ Pa s; $\rho_2=900$ kg/m³). La placa se mueve en la dirección indicada con una velocidad v_0 tal que el flujo neto de ambos fluidos en la dirección paralela al plano inclinado es nulo. Si el espesor de la película del fluido 1 es $\delta_1=8$ mm, determine el espesor de la película del fluido 2, δ_2 . El ángulo de inclinación del plano es $\alpha=20^\circ$.

Fenómenos de Transporte I



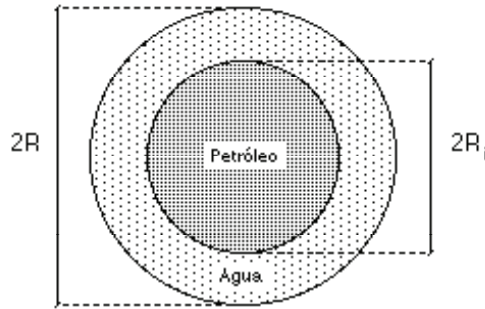
Respuesta: $\delta_2 = 2,5 \text{ mm}$

4-12.- Un fluido newtoniano se transporta entre dos puntos en flujo estacionario e incompresible mediante una tubería horizontal de sección circular. Si se mantiene la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la tubería y el flujo puede considerarse desarrollado en todo momento, indique cómo cambia el flujo volumétrico de fluido si su temperatura (la cual puede suponerse uniforme) se aumenta bruscamente mediante una transferencia de calor desde el exterior. Justifique su respuesta. Considere las posibilidades de que el fluido pueda ser un líquido o un gas.

¿Cambia su respuesta si el ducto es de sección cuadrada en vez de circular?

4-13.- Uno de los mayores problemas que se presentan en el transporte de petróleo crudo es que, debido a su alta viscosidad, las caídas de presión que se generan en las tuberías de transporte son muy altas, lo cual se traduce en altos costos de bombeo. Una alternativa para aliviar el problema consiste en inyectar agua en la tubería. Esto hace que, en ciertas condiciones, se obtenga un régimen de flujo anular (ver figura). Determine para este caso el flujo volumétrico de cada fase en términos de sus propiedades físicas, R_i , R , y la caída de presión por unidad de longitud, $\Delta P/L$. Considere flujo estacionario unidimensional y desprecie los efectos de la tensión superficial en la interfase agua-petróleo.

Fenómenos de Transporte I



Respuestas:

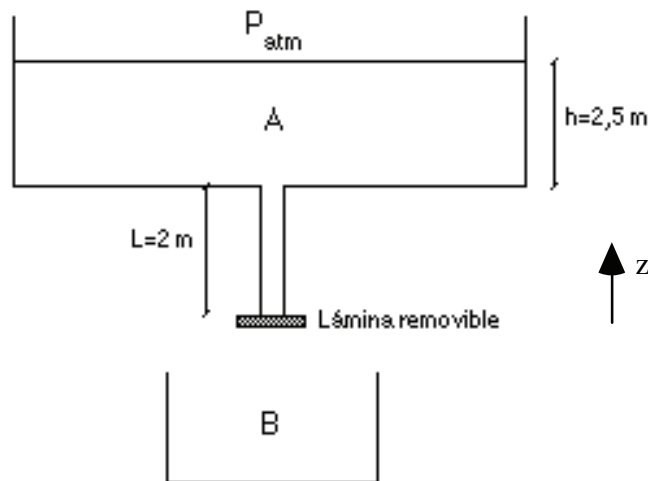
$$Q_{\text{petróleo}} = \frac{\Delta P \pi R_i^4}{L 8 \mu_p} \left[1 + \frac{2 \mu_p}{\mu_a} \left(\frac{R^2}{R_i^2} - 1 \right) \right] ; \quad Q_{\text{agua}} = \frac{\Delta P \pi R^4}{L 8 \mu_a} \left[1 - \left(\frac{R_i^2}{R^2} \right)^2 \right]^2$$

4-14.- Se desea llenar un tanque de 50 lts. de capacidad (tanque B, ver figura). Esto se realiza removiendo la lámina colocada en el extremo inferior de una tubería de 2 m de longitud y 1,5 cm de diámetro, la cual está conectada a un tanque con una gran área transversal (A), abierto a la atmósfera y que contiene fluido hasta un nivel de 2,5 m. Considerando que el nivel en el tanque A casi no varía durante el llenado del tanque B y que el flujo en la tubería es estacionario, incompresible y unidimensional, determine en cuánto tiempo se llenará el tanque B para los dos fluidos siguientes:

- (a) Fluido newtoniano con $\rho=1150 \text{ kg/m}^3$ y $\mu=80 \text{ mPa s}$.
- (b) Fluido que sigue la ley de la potencia:

$$\tau_{xy} = m \left(\frac{dv_y}{dx} \right)^n$$

con $m=2,5 \text{ Pa s}^n$, $n=0,6$ y $\rho= 1150 \text{ kg/m}^3$.



Respuestas: (a) 2,1 min.; (b) 6,8 min.

4-15.- Se utiliza como viscosímetro un dispositivo que consta de dos cilindros concéntricos entre los

Fenómenos de Transporte I

cuales se coloca el fluido cuya viscosidad se desea determinar. El cilindro externo (radio R) se mantiene fijo en tanto que el interno (radio λR , con $\lambda < 1$) se hace girar con una velocidad angular ω . Ambos cilindros tienen una longitud L . Utilice coordenadas cilíndricas (r, θ, z) con $r=0$ en el eje de los cilindros para representar el problema. Se utilizará este viscosímetro para determinar la relación esfuerzo-tasa de deformación de un fluido que sigue el modelo de la potencia que, para este caso, puede plantearse como sigue:

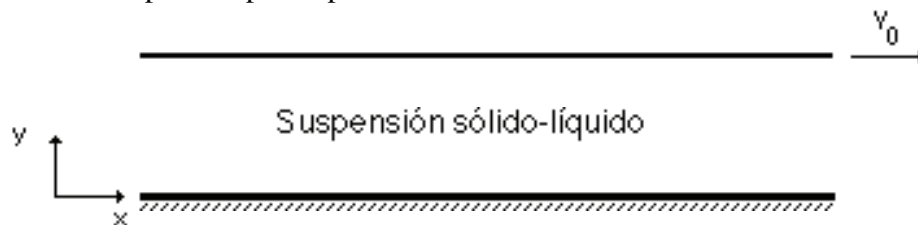
$$\tau_{r\theta} = -m \left[-r \frac{d(v_\theta/r)}{dr} \right]^n$$

(a) Determine el campo de velocidades. Especifique en detalle las suposiciones y consideraciones básicas realizadas.

(b) Determine el torque que hay que aplicar al cilindro interior para que él mantenga su velocidad angular.

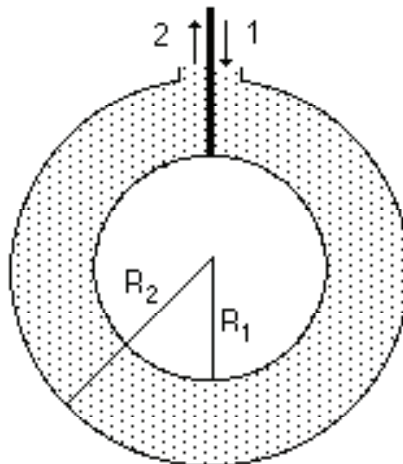
(c) Especifique los experimentos que se deben realizar y el procedimiento de cálculo para determinar los parámetros m y n a partir de la medida del torque aplicado y la velocidad angular del cilindro interior.

4-16.- Una suspensión de partículas sólidas en un líquido se encuentra entre dos placas planas paralelas de área A separadas por una distancia h . La placa superior se mueve con una velocidad constante v_0 en la dirección x , tal como se muestra en la figura. La suspensión se encontraba inicialmente en reposo pero, debido al movimiento de la placa superior, se desarrolla en ella un perfil de velocidades. La suspensión puede ser considerada un fluido newtoniano pero, debido a que las partículas sólidas tienden a acumularse sobre la placa inferior, su viscosidad será una función de la posición vertical. Si dicha viscosidad puede expresarse como una función lineal de y de la forma $\mu = \mu_0(1 - \alpha y)$, determine el perfil de velocidades. Halle además una expresión para calcular la fuerza que debe ejercerse sobre la placa superior para mantener su movimiento.



Respuestas: $v_x = v_0 \frac{\ln(1 - \alpha y)}{\ln(1 - \alpha h)}$; $F_x = -\frac{\mu_0 v_0 \alpha A}{\ln(1 - \alpha h)}$

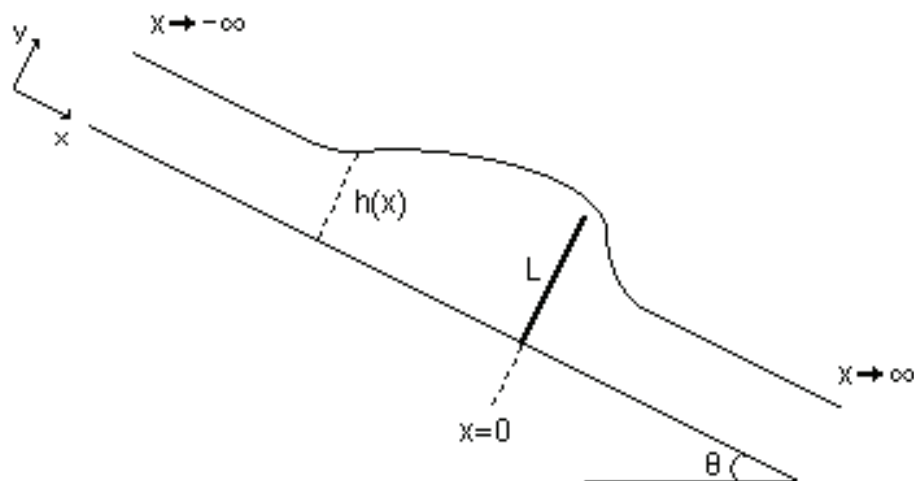
4-17.- Un fluido newtoniano fluye entre dos cilindros concéntricos en dirección angular. El fluido tiene una densidad ρ , una viscosidad μ , y fluye en flujo estacionario e incompresible. Ambos cilindros están fijos. El fluido entra a través de la sección 1 y sale a través de la sección 2 (ver figura). Las presiones en dichas secciones son P_1 y P_2 , respectivamente ($P_1 > P_2$). Suponga que el flujo es unidimensional en la dirección angular. Los ejes de los cilindros están alineados con el vector aceleración de gravedad (dicho vector apunta en dirección perpendicular al plano de la figura). Utilice un sistema de coordenadas cilíndricas (r, θ, z) . Los cilindros tienen longitud L .



- (a) Demuestre que la presión varía linealmente con la posición angular (θ).
- (b) Determine el perfil de velocidades en el fluido.
- (c) Determine la fuerza en la dirección angular que el fluido ejerce sobre ambos cilindros.

4-18.- Un fluido newtoniano de densidad ρ y viscosidad μ se desliza por un plano inclinado en flujo estacionario e incompresible. El plano inclinado tiene un ancho (en z) muy grande, de manera que el flujo puede considerarse bidimensional. El flujo volumétrico del fluido por unidad de ancho es conocido (Q/w). Sobre el plano inclinado se encuentra un obstáculo de altura L , ancho igual al del plano inclinado y espesor muy pequeño. Plantee las ecuaciones diferenciales y condiciones de borde cuya solución proporcionaría el perfil de velocidades en el fluido y la forma de la superficie libre, $h(x)$. Desprecie efectos de tensión superficial.

Se desea hacer un modelo a escala del flujo, para lo cual se debe diseñar un experimento con un plano inclinado más pequeño que el original. Si en el modelo la altura del obstáculo es L_0 ($<L$), diseñe el experimento a realizar y explique cómo a partir de dicho experimento se puede determinar el perfil de velocidades y la forma de la superficie libre de la configuración original.



Para resolver el problema, adimensionalice las ecuaciones de Navier-Stokes utilizando L como

Fenómenos de Transporte I

longitud característica y como velocidad característica la velocidad promedio del flujo en las regiones de flujo desarrollado ($x \rightarrow \pm\infty$).

Nota: Como la función $h(x)$ debe ser una solución del problema, es necesario especificar dos condiciones de borde en la superficie libre.

4.19.- El número de Reynolds de un flujo a través de un tubo, está definido como $Re = \rho V D / \mu$, donde V es la velocidad promedio y D es el diámetro del tubo. Utilizando los sistemas de dimensiones M, L, t , y F, L, t , demuestre que el número de Reynolds es adimensional.

4.20.- A velocidades muy bajas, la fuerza de arrastre sobre un objeto es independiente de la densidad del fluido, por ello la fuerza de arrastre F , sobre una pequeña esfera es sólo función de la velocidad V , la viscosidad μ , y del diámetro D . Emplee el análisis adimensional para expresar la fuerza de arrastre como función de estas variables. Tómese la viscosidad, la velocidad y el diámetro como variables repetitivas.

Respuestas: $\pi = F / \mu v D$

4.21.- En un día promedio la velocidad sónica a nivel del mar es cerca de 1120 pies/s; a la latitud de 28000 pies, dicha velocidad es de aproximadamente 1000 pies/s. Un avión a propulsión a chorro es capaz de volar a un número de Mach de 1,8 a nivel del mar y 2,3 a una altitud de 28000 pies. Determinar las velocidades correspondientes en millas por hora.

Respuestas: 1570 mill/h

4.22.- Se cree que la potencia P , necesaria para mover un ventilador, depende de la densidad del fluido, del gasto volumétrico Q , del diámetro del impulsor D , y de la velocidad angular w . Utilizando el análisis dimensional, determine la dependencia de P con las otras variables. Seleccione ρ , D , w como variables repetitivas.

Respuestas: $P / (D^5 w^3 \rho) = f(Q / w D^3)$

4.23.- La velocidad de una onda gravitacional en la superficie libre en aguas profundas, es una función de la longitud de onda λ , de la profundidad D , de la densidad del agua y de la aceleración de la gravedad. Utilizando el análisis dimensional determine la dependencia funcional de V con respecto a las otras variables. Seleccione ρ , D , g como variables repetitivas. Expresé V en su forma más simple.

Respuestas:

$$V = \sqrt{Dg} f(\lambda / D)$$

4.24.- Las ondas capilares se forman en una superficie libre de un líquido como resultado de la tensión superficial. Se caracterizan por tener longitudes de ondas cortas. La velocidad de una onda capilar depende de la tensión superficial σ , la longitud de onda λ y de la densidad del líquido ρ . Utilizando el análisis dimensional, exprese la velocidad de onda como una función de estas variables.

Respuestas:

$$V = \sqrt{\sigma / \lambda \rho}$$

4.25.- La pérdida de potencia P de una chumacera depende del diámetro D y de la holgura de la chumacera c , además de la velocidad angular w . La viscosidad del fluido lubricante y la presión media también resultan importantes. Determine la forma funcional en que depende de estos parámetros.

Respuestas:

Fenómenos de Transporte I

$$P / D^3 w \Delta P = f(w \mu / \Delta P, c / D)$$

4.26.- Un disco gira cerca de una superficie fija, el radio del disco es R y el espacio entre el disco y la superficie se llena con un fluido de viscosidad μ . La distancia entre el disco y la superficie es h y el disco gira con velocidad angular w. Determine la relación funcional entre el momento torsor que actúa sobre el disco T, y las otras variables.

Respuestas:

$$\mu h^3 w / T = f(R / h)$$

4.27.- Para ciertos intervalos de velocidad baja, se desprenden vórtices en la parte posterior de cualquier cilindro de forma obtusa que se coloque transversalmente flujo. Los vórtices se desprenden alternativamente de la parte superior e inferior del cilindro, dando lugar a una fuerza alternante, perpendicular a la velocidad de la corriente libre. La frecuencia f con que se desprenden los vórtices, se piensa que depende de ρ , μ , V y d.

(a) Utilizando el análisis dimensional desarrolle una relación funcional para f.

(b) En dos cilindros colocados en aire estándar con una relación de diámetro de 2, se presenta este desprendimiento de vórtices. Determine la razón entre las velocidades y la razón entre las frecuencias de desprendimiento de los vórtices que correspondan a la semejanza dinámica.

Respuesta: $fd/V = g(\rho V d / \mu)$, $V_1/V_2 = 1/2$, $f_1/f_2 = 1/4$

4.28.- Se le pide encontrar un conjunto de parámetros adimensionales para organizar los datos de un experimento de laboratorio, en el cual se vacía un tanque por medio de un orificio desde un nivel de líquido inicial h_0 . El tiempo t, para vaciar el tanque depende del diámetro del mismo D, del diámetro del orificio, d; la aceleración de la gravedad g; la densidad del líquido, ρ y de la viscosidad del líquido, μ .

(a) ¿Cuántos parámetros adimensionales resultaran?

(b) ¿Cuántas variables de repetición deben seleccionarse para determinar los parámetros adimensionales?

(c) Obtenga el parámetro π que contiene la viscosidad.

Respuestas: 4 param. adim, 3 variables de repetición, $\Pi_3 = \mu / (\pi d^{3/2} g^{1/2})$

4.29.- Como parte de los festejos nacionales, un grupo de ciudadanos emprendedores cuelgan una bandera de dimensiones gigantes (59 m de altura y 112 m de ancho) de los cables de suspensión de un gran puente. Los organizadores del acto se negaron a practicar agujeros en la bandera cuyo objeto era aliviar la fuerza del viento, por lo que se puede considerar a la bandera como una placa plana perpendicular al flujo. Como resultado de lo anterior, la bandera se desprendió del sistema de sujeción cuando el viento alcanzó la velocidad de 16 Km/h. Estímese la fuerza que el viento ejerció sobre la bandera para esta velocidad.

Respuestas: $F_d = 92,3 \text{ kN}$.

4.30.- La componente en dirección vertical de la velocidad de aterrizaje en un paracaídas debe ser menor de 60 m/s. El paracaídas se puede considerar como un hemisferio abierto. La masa total del paracaidista es de 120 kg. Determine el diámetro mínimo del paracaídas.

Respuestas: $D = 6,90 \text{ m}$.

4.31.- Un aeroplano antiguo dispone de 15 m de cables de retención colocados en posición normal a la dirección del movimiento. El diámetro de los cables es 6 mm. Basando los cálculos en los resultados para

Fenómenos de Transporte I

flujo bidimensional alrededor del alambre, ¿ Qué ahorro en potencia puede lograrse eliminando los cables si la velocidad del avión es 150 Km/h en aire en condiciones estándar a nivel del mar.

Respuestas: $P=4,80\text{Kw}$

4.32.- Un automóvil Ford, tiene un coeficiente de arrastre de 0,5 a velocidad de carretera, usando un área de referencia de 2,29 m². Determine la potencia necesaria para vencer al arrastre a una velocidad de 30 m/s. Compare esta cifra con el caso de los vientos de frente y atrás de 6m/s.

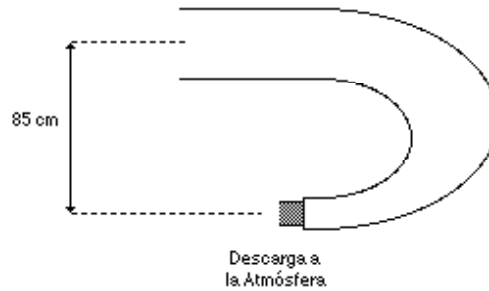
Respuestas: 25,4hp; 36,58hp; 16,26hp.

4.33.- Calcule la fuerza normal ejercida sobre un letrero circular de 8 pies de diámetro durante un huracán (120mill/h).

Respuestas: 2186 lbf

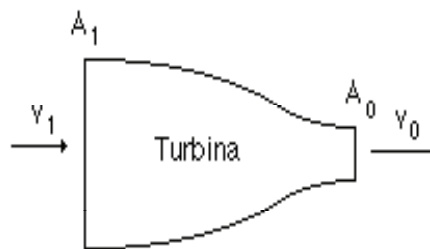
Capítulo 5 - Flujo Turbulento y Balances Macroscópicos.

5-1.- Se descargan a la atmósfera $2 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua a través de un codo vertical de 180° , tal como se muestra en la figura. En el codo, la sección de flujo sufre una contracción de diámetro desde 50 cm hasta 35 cm . Despreciando efectos viscosos, calcule la magnitud y sentido de la fuerza horizontal que el fluido ejerce sobre el codo.



Respuestas: $-31,31 \text{ kN}$

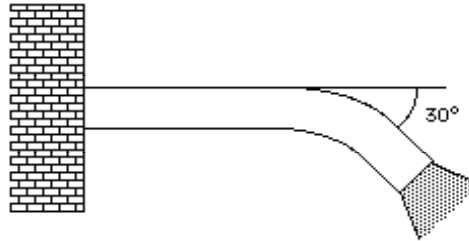
5-2.- Una turbina de propulsión a chorro de un avión se esquematiza como se muestra en la figura. La turbina toma aire atmosférico a través de una sección de área A_1 y lo descarga a mayor velocidad a través de una sección de menor área A_0 . Si la potencia suministrada al fluido es W y los efectos viscosos son despreciables, obtenga una expresión que permita calcular la velocidad de salida del aire en función del área de las dos secciones, de W y de las propiedades físicas del aire que sean necesarias. Especifique si debe realizar alguna suposición adicional. Determine además una expresión para calcular la magnitud de la fuerza que la turbina ejerce sobre el avión.



Respuestas:
$$v_o = \sqrt{\frac{2W}{\rho A_o \left[1 - \left(\frac{A_o}{A_1} \right)^2 \right]}} ; \quad F = \rho A_o \left(1 - \frac{A_o}{A_1} \right) \left\{ \frac{2W}{\rho A_o \left[1 - \left(\frac{A_o}{A_1} \right)^2 \right]} \right\}^{\frac{2}{3}}$$

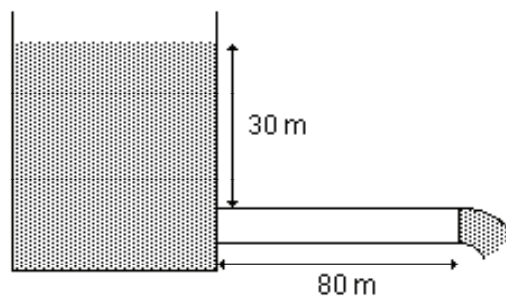
5-3.- Una tubería empotrada en una pared (ver figura), descarga agua a una velocidad de 7 m/s . Su área transversal es de 7 cm^2 . Suponga que la caída de presión a lo largo de la tubería es despreciable, así como también los pesos de fluido y tubería. Calcule las componentes horizontal y vertical de la fuerza que ejerce la pared sobre la tubería.

Fenómenos de Transporte I



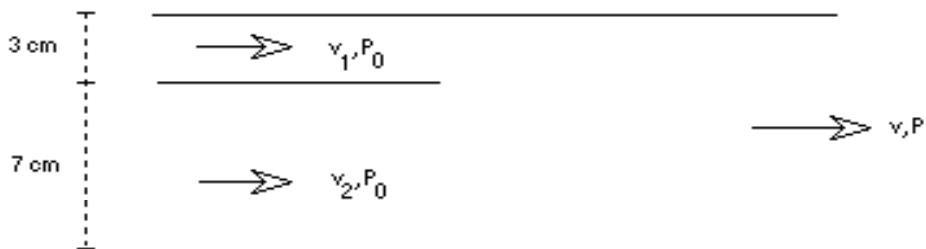
Respuestas: $F_x = -4,6 \text{ N}$; $F_y = -17,2 \text{ N}$.

5-4.- Calcule el flujo volumétrico de agua en el sistema mostrado en la figura. Considere que el diámetro del tanque es lo suficientemente grande como para considerar que su nivel permanece constante, tome además que la tubería es lisa con diámetro interno de 1 pulgada.



Respuestas: $Q = 4,216 * 10^{-2} \text{ m}^3 / \text{s}$

5.5.- La figura muestra dos placas paralelas entre las cuales fluyen dos corrientes de agua a 20°C (1 y 2) separadas hasta un punto por una pared horizontal. Al final de dicha pared, las dos corrientes se mezclan para formar una sola corriente que llega a estabilizarse al alcanzar una presión P. El flujo es turbulento por lo que puede considerarse que las velocidades del agua son uniformes en cada sección. La velocidad de agua en la sección 1 es $v_1 = 3 \text{ m/s}$. Se desea que la presión se incremente de forma tal que $P - P_0 = 1 \text{ kPa}$. Determine la velocidad del agua en la sección 2 (v_2). Resuelva el problema realizando un balance macroscópico de cantidad de movimiento en la dirección del flujo. ¿Por qué cree Ud. que este es el balance macroscópico apropiado para resolver este problema? Desprecie efectos viscosos.

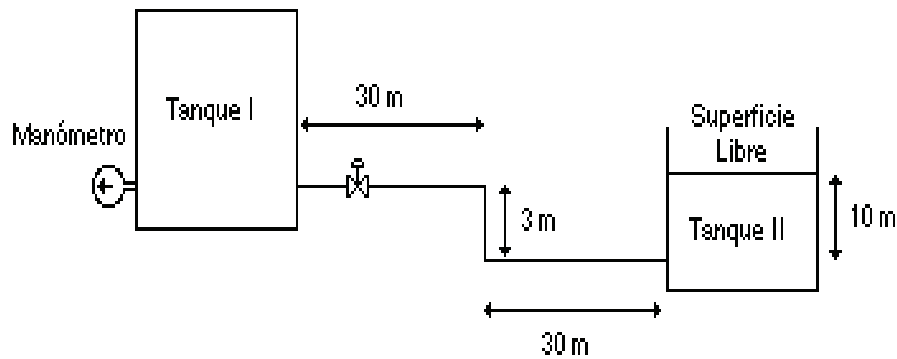


Respuesta: 0,82 m/s ó 5,18 m/s.

5-6.- Fluye agua a 25°C a través del sistema mostrado en la figura. El manómetro del tanque I reporta una lectura de 500 kPa. La tubería es de diámetro uniforme y en ella se encuentran una válvula de globo convencional y dos codos estándar de 90°. La entrada y salida de los tanques son de bordes rectos. Determine el diámetro de tubería lisa necesario para que el flujo de agua transportado entre los dos

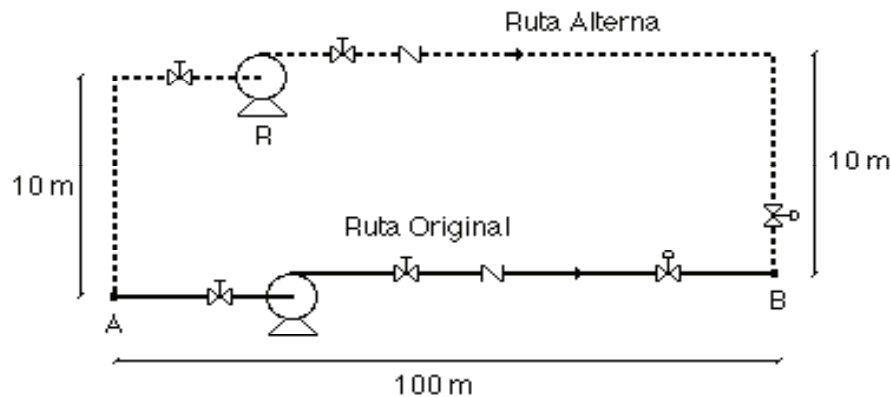
Fenómenos de Transporte I

tanques sea de 30 lts/s.



Respuesta: 6,96 cm.

5-7.- Un fluido con viscosidad de 5×10^{-4} Pa y densidad de 700 kg/m^3 se transporta a través de una tubería de acero comercial de 4 pulgadas de diámetro nominal, catálogo 40, y 100 m de longitud total entre dos puntos A y B (ver figura). La tubería tiene como accesorios 2 válvulas de compuerta, una de globo y una de ángulo, además de una bomba que suministra la potencia necesaria para transportar un caudal de 700 lts/min. Todas las secciones de la tubería están al mismo nivel de altura.



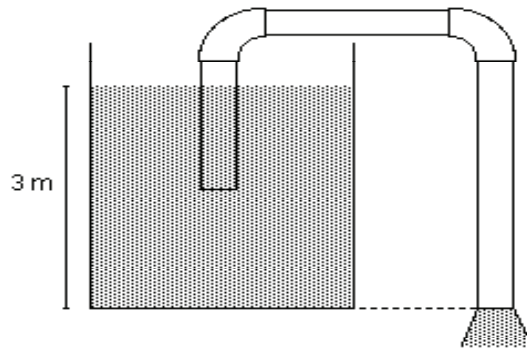
Se debe reparar la tubería y se plantea bombear el fluido por una ruta alterna entre los mismos puntos A y B. Dicha ruta consta de un tramo de 70 m de tubería de acero comercial de 4 pulgadas de diámetro nominal y otro de 50 m de tubería de acero comercial de 6 pulgadas de diámetro nominal, ambas catálogo 40. La transición entre los tramos ocurre en una expansión brusca. En el tramo de 70 m se coloca la bomba y se tienen como accesorios 2 válvulas de compuerta, una válvula de ángulo y un codo de 90° . En el tramo de 50 m se tienen como accesorios una válvula de globo y un codo de 90° . También en este caso todas las secciones de tubería se encuentran a la misma altura. Si en todo momento se registran presiones fijas en los extremos del sistema de $P_A=200 \text{ kPa}$ y $P_B=970 \text{ kPa}$ (presiones manométricas) y la potencia suministrada a la bomba es la misma en la ruta original que en la ruta alterna, determine el caudal que se transportará entre los puntos A y B a través de la ruta alterna.

Respuesta: $0,0118 \text{ m}^3/\text{s}$.

5-8.- El sistema mostrado en la figura, conocido como sifón, se utiliza para extraer agua de un tanque sin suministrar potencia. Uno de los extremos del tubo sifón está sumergido 30 cm en el tanque. El diámetro interno del tubo es de 2 pulgadas, su longitud total es de 4 m y su rugosidad relativa es de 0,02.

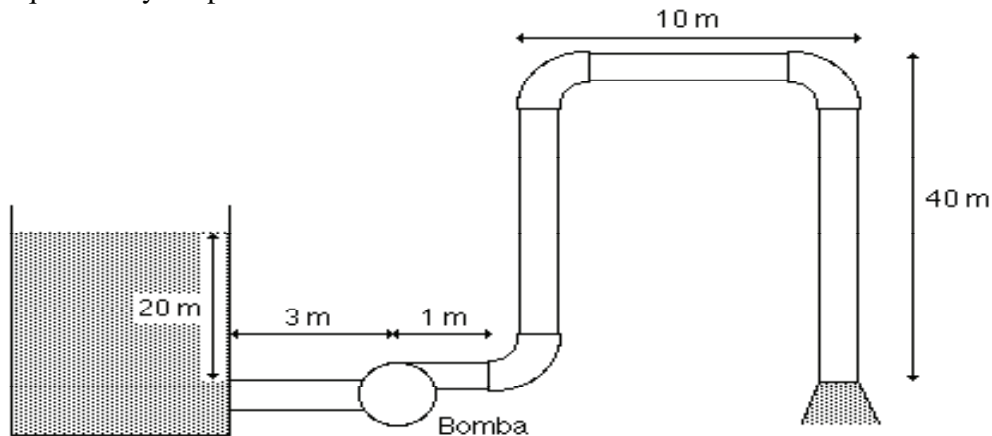
Fenómenos de Transporte I

Suponiendo que el nivel de agua en el tanque se mantiene constante, determine el caudal de agua extraído.



Respuestas: $5,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

5-9.- Determine el mínimo flujo volumétrico de agua en el sistema de bombeo mostrado en la figura para que no haya vapor en el sistema.



Bajo esa condición, calcule la potencia requerida por la bomba. Las tuberías son de acero comercial de 1 pulgada de diámetro nominal, catálogo 40. Desprecie pérdidas menores y suponga que el nivel de agua en el tanque permanece constante. La temperatura del agua es de 25°C y la presión de vapor a esta temperatura es de 3169,1 Pa. La eficiencia de la bomba es de 80% y el $(\text{NPSH})_R = 49,33$

Respuestas: $W_{\text{bomba}} = 602,96 \text{ kW}$

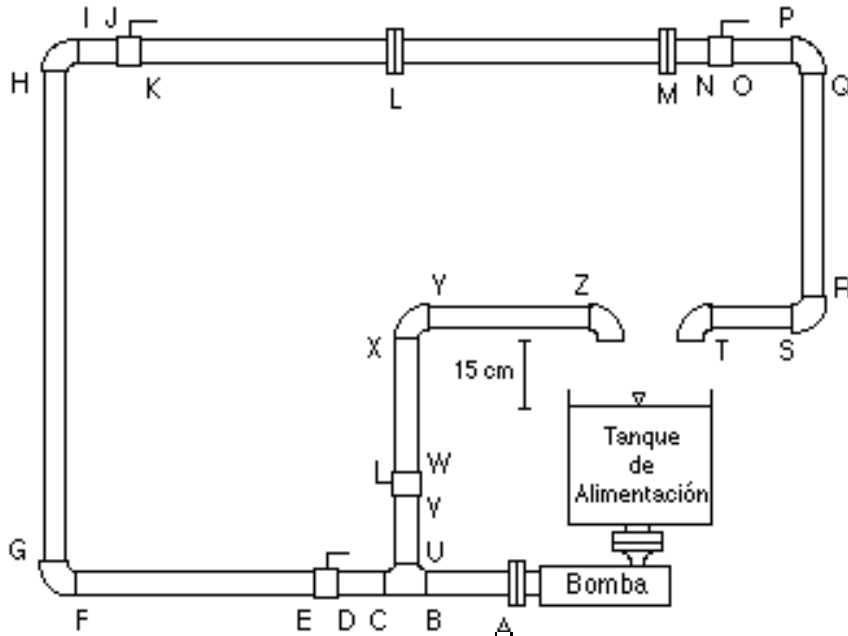
5-10.- La figura muestra un banco de pruebas donde se estudiará el flujo a través de tuberías de sección circular. El banco de pruebas consiste en un tanque de alimentación desde el cual el fluido es impulsado a través de una bomba de desplazamiento positivo hacia el sistema de tuberías. Existe una sección de recirculación (UZ) que permite regresar parte del fluido al tanque con el objeto de controlar el flujo a través del tramo de pruebas (LM). En la instalación original, todas las tuberías tienen diámetro nominal de 2 pulgadas. Las tuberías son de acero comercial catálogo 40, excepto el tramo LM que es un tubo de plexiglas transparente de 5,25 cm de diámetro interno (puede considerarse que este es un tubo completamente liso). Todas las válvulas del sistema son válvulas de bola y ellas se encuentran normalmente abiertas. La bomba entrega al fluido una potencia de 15 kW. Pueden despreciarse las pérdidas friccionales en la “te” BCU, en las bridas L y M y en la descarga del tanque a la bomba. El fluido a utilizar posee, a las condiciones de operación, una densidad de 1200 kg/m^3 y una viscosidad de

Fenómenos de Transporte I

4 mPa s.

(a) Determine el flujo volumétrico de fluido que pasa por el ramal principal del sistema (CT) cuando la válvula VW está completamente cerrada. Calcule la caída de presión en el tramo LM.

(b) Se desea modificar el sistema para que pasen 2 lt/s de fluido a través del ramal principal (CT). Para ello se mantendrá la válvula VW completamente abierta y se cambiará la potencia entregada por la bomba. Determine para estas condiciones la potencia que debe suministrar la bomba y el flujo de fluido a través del ramal de recirculación (UZ).



Tramo	L (cm)
AB	40,5
CD	16,5
EF	340,5
GH	140,5
IJ	12,5
KL	348,5
LM	120,0
MN	11,0
OP	12,5
QR	68,5
ST	26,0
UY	15,5
WX	35,0
YZ	61,0

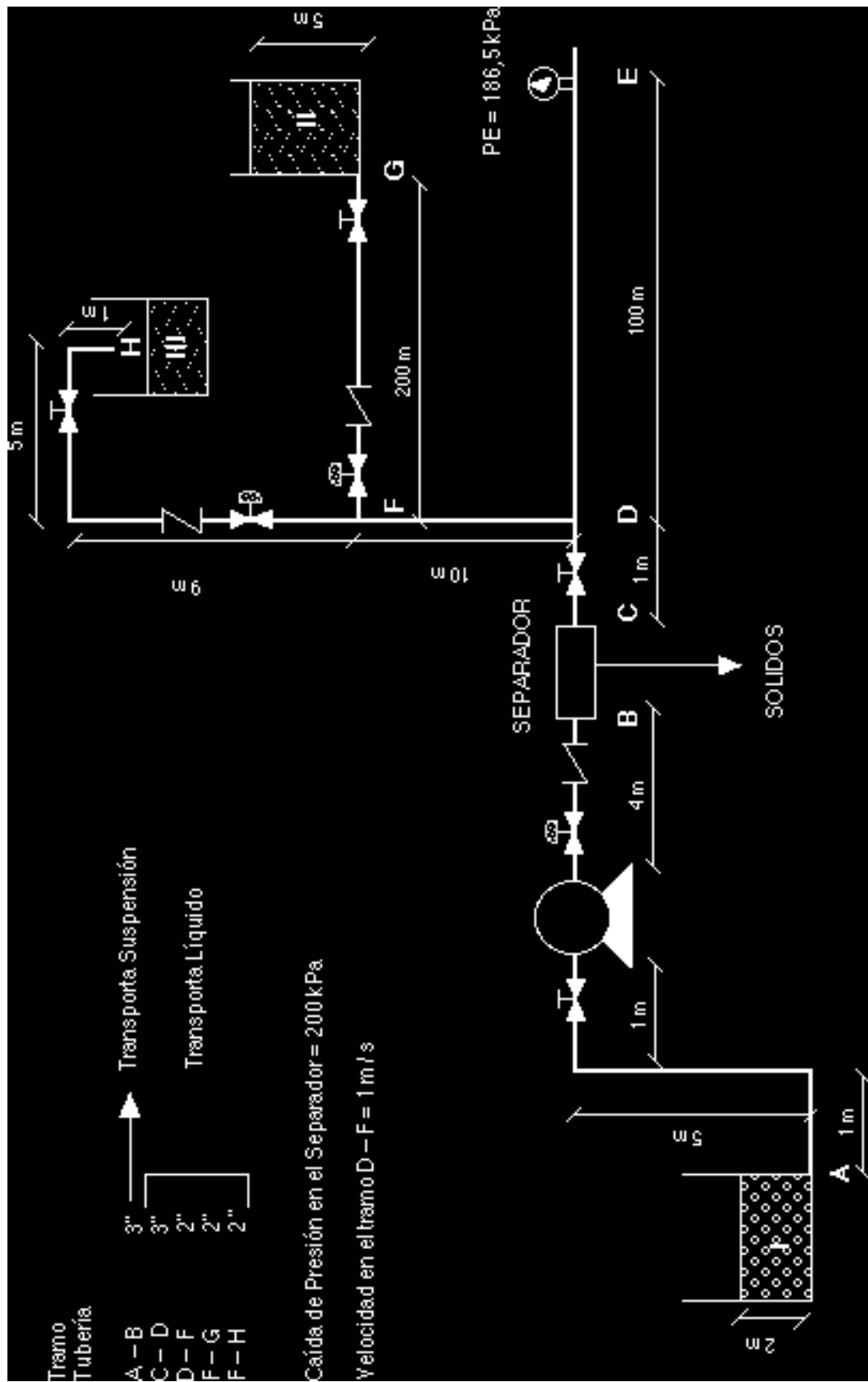
Respuestas: (a) $Q_{CT}=0,025 \text{ m}^3/\text{s}$; $\Delta P_{LM}=30 \text{ kPa}$; (b) $\dot{W}=89 \text{ W}$; $Q_{UZ}=0,0045 \text{ m}^3/\text{s}$.

5-11.- El esquema que se presenta en la página siguiente corresponde a un sistema de tuberías que lleva una suspensión sólido-líquido desde un tanque (I) hasta un separador donde todo el sólido es extraído de la suspensión. La suspensión consiste en un 90% de líquido en volumen y un 10% de sólidos. Las propiedades físicas de la suspensión sólido-líquido son las siguientes: $\rho_s= 1100 \text{ kg/m}^3$, $\mu_s= 3 \text{ mPa.s}$, $P_v = 0,25 \text{ kPa}$. El líquido puro ($\rho= 1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu= 1 \text{ mPa.s}$) sale del separador y se divide en dos ramales de igual caudal (DE y DF). El líquido que fluye por el ramal DF es a veces descargado en el tanque II y a veces en el tanque III (nunca los ramales FH y FG están abiertos simultáneamente).

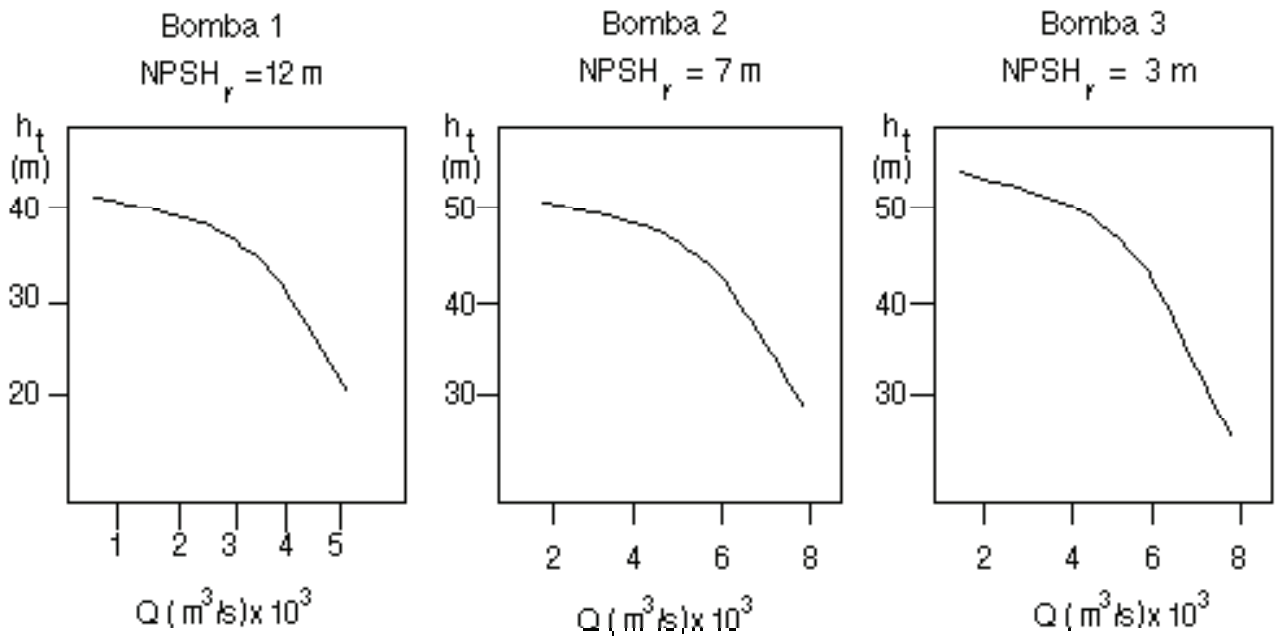
(a) De las tres bombas cuyas curvas características se anexan, seleccione la que se debería colocar en el circuito.

(b) Determine el diámetro nominal de la tubería DE. El valor de presión manométrica que se reporta en E (186,5 kPa) es leído cuando el líquido que fluye por el ramal DF descarga al tanque II.

Todas las tuberías son de acero comercial catálogo 40. Desprecie efectos viscosos en el punto D.

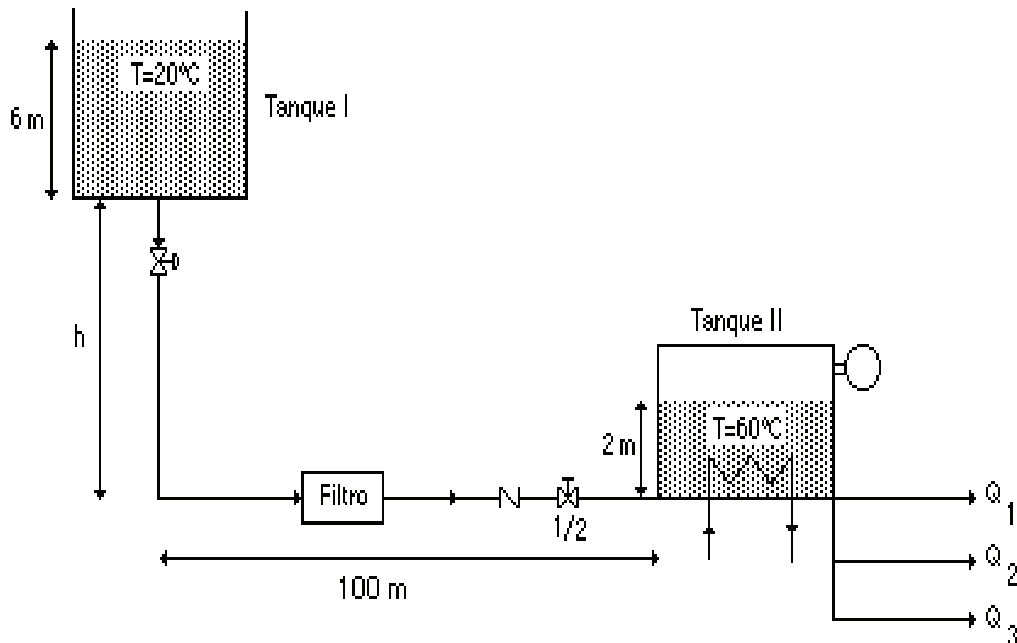


Fenómenos de Transporte I



Respuestas: (a) Bomba 3; (b) 1,5 pulgadas.

5-12.- Para la configuración mostrada en la figura, calcule el valor de la altura h para que el nivel de agua en el tanque II permanezca constante. Las tuberías son de acero comercial de 5 pulgadas de diámetro nominal catálogo 40. La caída de presión a través del filtro es de 4 psi. La presión leída por el manómetro conectado al tanque II es de 1 MPa. Los caudales de salida son $Q_1=200$ lt/min, $Q_2=480$ lt/min y $Q_3=120$ lt/min. El nivel de agua en el tanque I permanece constante.



Respuesta: 105 m.

Fenómenos de Transporte I

5-13.- Se desea diseñar un sistema de carga de un buque petrolero, el cual consiste en un tanque de almacenamiento de petróleo en el muelle desde el cual se extiende una tubería hasta el buque. La altura de nivel de líquido en el tanque es de 4 m sobre el nivel del mar, y ella permanece constante durante el procedimiento de carga. El tanque está a presión atmosférica. La tubería será de acero comercial, catálogo 40, con una longitud de 100 m y un diámetro nominal de 8 pulgadas. En los primeros 25 m de tubería debe haber un codo de 90° y una válvula de compuerta completamente abierta durante la carga. En el resto de la tubería (tramo de 75 m) debe haber otro codo de 90°, otra válvula de compuerta y una válvula de globoconvencional, cuyo fin es regular el caudal de carga. El sistema debe transportar 2×10^5 lts/hr de crudo desde el tanque hacia el buque. La descarga del tanque a la tubería es del tipo descarga con saliente.

(a) Determine si, para las condiciones dadas, el sistema requiere una bomba. De ser así, calcule la potencia mínima de la bomba (hp).

(b) Si el tramo de 75 m fuese construido con una tubería de acero, catálogo 80, de 5 pulgadas de diámetro nominal, manteniendo los mismos accesorios, ¿sería necesaria una bomba? De ser así, determine su potencia mínima (hp). El cambio de diámetro en la tubería de transporte se realiza mediante una reducción brusca.

Propiedades del crudo: Densidad: 855 kg/m^3 , Viscosidad: 8 cp

Respuestas: (a) No. (b) 14 hp.

5-14.- Se desea bombear agua a 20°C (presión de vapor: 2339 Pa) desde un río hacia un tanque de almacenamiento, tal como se muestra en la figura. El sistema de transporte mostrado posee las siguientes características:

Tubería de succión de la bomba: tiene 50 m de longitud y posee 5 codos estándar de 90°, una válvula de compuerta y una válvula de globo.

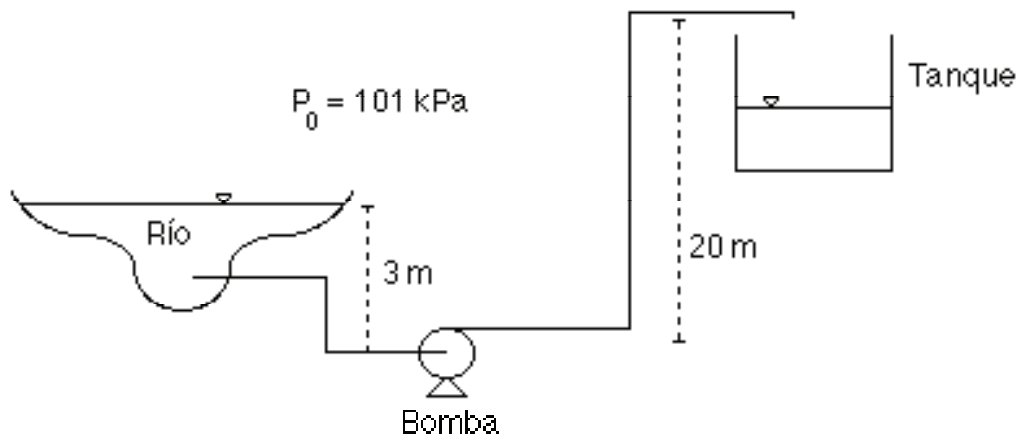
Tubería de descarga de la bomba: tiene 150 m de longitud y posee 8 codos estándar de 90°, dos válvulas de compuerta y una válvula de globo.

Ambas tuberías son de acero comercial, catálogo 40, de 3 pulgadas de diámetro nominal. Note que la descarga del río es del tipo descarga con saliente. La bomba instalada en el sistema es una bomba centrífuga cuyas características se muestran en la siguiente tabla:

Q (lts/s)	hw (m)	Eficiencia (%)
0	85	0
1,3	79	45
2,5	67	60
3,8	49	60
5,0	34	56
6,3	19	50
7,6	9	43
8,8	3	37

El NPSH requerido por la bomba es de 3,0 m.

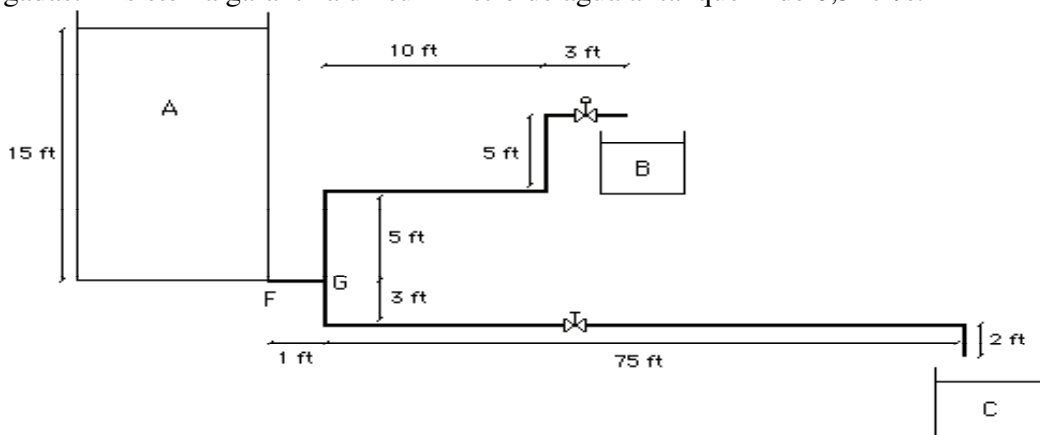
Fenómenos de Transporte I



- (a) Determine el flujo volumétrico de agua.
- (b) Determine la potencia requerida por el motor de la bomba.
- (c) ¿Habrá cavitación en la bomba?
- (d) Durante la operación del sistema, se cerrará parcialmente la válvula de globo del circuito de descarga por un cierto período de tiempo para que el flujo volumétrico de agua sea de 2,5 lts/s. En esta condición de operación, ¿cuál será la potencia requerida por el motor de la bomba?

Respuestas: (a) 5,9 lts/s; (b) 2,62 kW; (c) No; (d) 2,74 kW.

5-15.- En el sistema mostrado en la figura, se transporta agua por gravedad desde el tanque A hasta los tanques B y C. Todas las tuberías son de acero comercial catálogo 40. La tubería del circuito GB tiene un diámetro nominal de 4 pulgadas, en tanto que la del circuito GC tiene un diámetro nominal de 3 pulgadas. El sistema garantiza un suministro de agua al tanque B de 0,5 ft³/s.



Debido a que se detectaron impurezas minerales en el agua que se extrae del tanque A, el circuito se modificará introduciendo un desmineralizador entre los puntos F y G a través del cual existirá una caída de presión constante de 3 psi. Simultáneamente, se desea que el suministro de agua al tanque B aumente a 1 ft³/s, por lo que se colocará una bomba en F o G.

- (a) Determine el caudal de agua suministrada al tanque C en el sistema original.
- (b) Especifique qué bomba colocaría Ud., entre las disponibles, indicando sus condiciones de operación (caudal y eficiencia). Además, indique dónde la colocaría (punto F o punto G) y por qué.
- (c) Determine el caudal de agua suministrada al tanque C en el sistema modificado.

A la temperatura de operación, se conocen los siguientes datos para el agua:

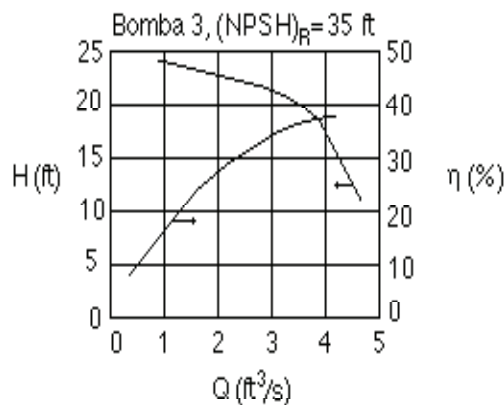
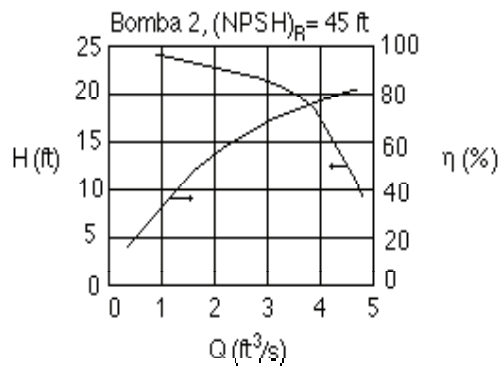
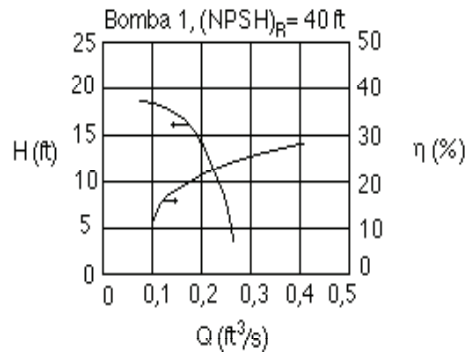
$\rho=62,4 \text{ lb/ft}^3$, $\mu=6,72 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$, presión de vapor: 0,5 psia.

Fenómenos de Transporte I

Considere despreciables las pérdidas entre los puntos F y G, así como también las que ocurren en la salida del tanque A, en las descargas a los tanques B y C y en la "T" colocada en el punto G. Suponga que el nivel del tanque A permanece constante.

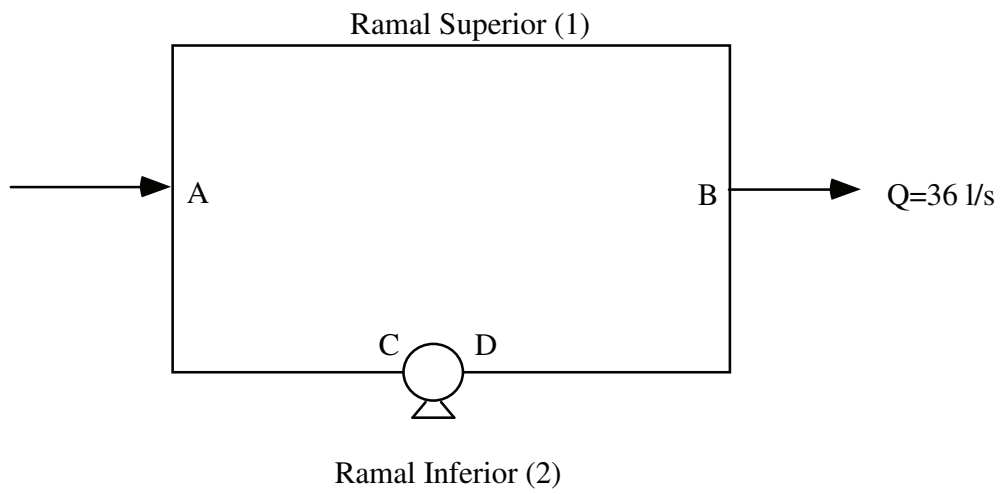
Respuestas: (a) 0,69 ft³/s; (b) Bomba 3; (c) 0,87 ft³/s.

Bombas disponibles:



5.16.- Se transporta agua a 20°C entre dos puntos A y B a través de dos ramales diferentes, tal como se muestra en la figura. Todas las tuberías de transporte son de hierro galvanizado. Pueden despreciarse pérdidas menores. El ramal superior (1) consiste en 60 m de tubería de diámetro interno igual a 5 cm. El ramal inferior (2) posee tuberías de 4 cm de diámetro interno; el tramo AC tiene una longitud de 5 m y descarga en una bomba centrífuga que entrega 38 kW de potencia al agua, en tanto que el tramo DB tiene una longitud de 50 m.

Fenómenos de Transporte I



Determine:

- (a) El flujo volumétrico en cada ramal.
- (b) La caída de presión entre A y B.

Respuestas: (a) $Q_1= 18,6 \text{ lts/s}$; $Q_2= 17,4 \text{ lts/s}$; (b) $\Delta P=1,4 \text{ MPa}$.