

Problemas

La mayoría de los problemas propuestos aquí son bastante sencillos. Los más difíciles, o de final abierto, se indican con un asterisco. Para resolver los problemas señalados con un icono EES (por ejemplo, el Problema P3.5) se recomienda el uso del Resolutor de Ecuaciones de Ingeniería (EES, *Engineering Equation Solver*), mientras que los problemas señalados con un disquete pueden requerir el uso de un ordenador. Los problemas estándar de final de capítulo P3.1 al P3.185 (ordenados por temas en la lista de abajo) están seguidos por los problemas conceptuales C3.1 a C3.7, los problemas del examen de fundamentos de ingeniería (FE, *Fundamentals of Engineering*) FE3.1 a FE3.10, los problemas extensos PE3.1 a PE3.5 y el Proyecto de Diseño D3.1.

Distribución de los problemas

Sección	Tema	Problemas
3.1	Leyes básicas de la física; flujo volumétrico	P3.1-P3.7
3.2	El teorema del transporte de Reynolds	P3.8-P3.11
3.3	Conservación de la masa	P3.12-P3.38
3.4	La ecuación de la cantidad de movimiento	P3.39-P3.109
3.5	El teorema del momento cinético	P3.110-P3.125
3.6	La ecuación de la energía	P3.126-P3.146
3.7	La ecuación de Bernoulli	P3.147-P3.185

P3.3 Para el flujo estacionario en un conducto largo a bajo número de Reynolds (laminar) (véase Problema P1.12), la velocidad longitudinal está dada por $u = C(R^2 - r^2)$, donde R es el radio del conducto y $r \leq R$. Integre $u(r)$ y obtenga el caudal Q que fluye a través del conducto.

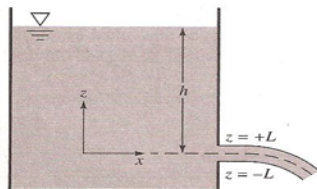
P3.4 Discuta si los siguientes flujos son estacionarios o no estacionarios: (a) flujo cerca de un automóvil que se mueve a 55 mi/h, (b) flujo del viento alrededor de un depósito de agua, (c) flujo en un conducto aguas abajo de una válvula que se abre a un ritmo uniforme, (d) flujo sobre el aliviadero de una presa y (e) flujo en el océano por debajo de un tren de ondas superficiales que se propagan de modo uniforme. Explique si estas cuestiones parecen ambiguas.

***P3.5** Una teoría propuesta por S. I. Pai en 1953 da los siguientes valores de la velocidad $u(r)$ para el flujo de aire turbulento (a gran número de Reynolds) en un conducto de 4 cm de diámetro:

r , cm	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
u , m/s	6,00	5,97	5,88	5,72	5,51	5,23	4,89	4,43	0,00

Comente estos datos comparándolos con los del flujo laminar del Problema P3.3. Estime, con la mayor precisión posible, el caudal Q a través del tubo en metros cúbicos por segundo.

P3.6 Cuando un chorro de líquido escapa por el orificio de un depósito impulsado sólo por la fuerza de la gravedad, como el de la Figura P3.6, la distribución de velocidad en la salida se puede aproximar por $u = \sqrt{2g(h-z)}$, donde h es la profundidad a la que se encuentra el centro del chorro. Cerca del orificio, el chorro es horizontal, bidimensional y de espesor $2L$, como se muestra en la figura. Obtenga una expresión general para el caudal total Q que sale por el orificio y simplifique el resultado en el límite $L \ll h$.



P3.6

P3.7 Considere el flujo de una corriente uniforme U contra un cilindro circular de radio R como el de la Figura P3.7. En el Capítulo 8 se desarrolla una teoría aproximada para la distribución de velocidades cerca del cilindro, en coordenadas polares, para $r \geq R$:

$$v_r = U \cos \theta \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) \quad v_\theta = -U \sin \theta \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right)$$

P3.1 Discuta la segunda ley de Newton (conservación de la cantidad de movimiento) en estas tres formas:

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad \sum \mathbf{F} = \frac{d}{dt}(m\mathbf{V})$$

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d}{dt} \left(\int_{\text{sistema}} \mathbf{V} \rho dV \right)$$

¿Son las tres igualmente válidas? ¿Son equivalentes? ¿Es alguna de ellas mejor para la mecánica de fluidos que para la mecánica de sólidos?

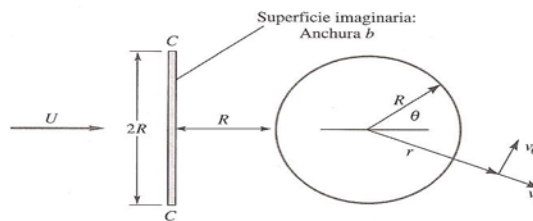
P3.2 Considere la conservación del momento cinético en la forma

$$\sum \mathbf{M}_O = \frac{d}{dt} \left[\int_{\text{sistema}} (\mathbf{r} \times \mathbf{V}) \rho dV \right]$$

¿Qué representa \mathbf{r} en esta relación? ¿Es válida esta relación tanto para la mecánica de sólidos como para la mecánica de fluidos? ¿Está relacionada con la ecuación de cantidad de movimiento (Problema P3.1)? ¿De qué forma?

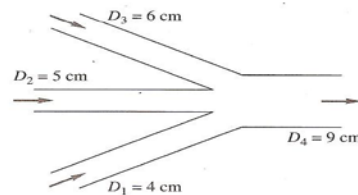
RELACIONES INTEGRALES PARA UN VOLUMEN DE CONTROL 187

donde las correspondientes direcciones positivas de las velocidades radial (v_r) y circunferencial (v_θ) se muestran en la Figura P3.7. Calcule el caudal Q que pasa a través de la superficie (imaginaria) CC de la figura. (Comentario: si CC estuviera localizada aguas arriba del cilindro el caudal sería $Q = 2URb$).



P3.7

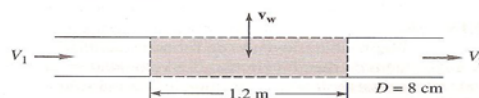
P3.8 En la Figura P3.8 tres conductos descargan agua a 20 °C de forma estacionaria a un gran conducto de salida. La velocidad $V_2 = 5$ m/s y el caudal de salida $Q_4 = 120$ m³/h. Calcule (a) V_1 , (b) V_3 y (c) V_4 si se sabe que, al aumentar Q_3 en un 20 por 100, Q_4 se incrementa en un 10 por 100.



P3.8

P3.9 En un laboratorio se dispone de un depósito que contiene agua salada de salinidad S y densidad ρ . El agua entra en el depósito a las condiciones (S_1, ρ_1, A_1, V_1) y se mezcla inmediatamente con el agua que ya está en él. El agua sale del depósito con una velocidad V_2 a través de un orificio de sección A_2 . Si la sal es una propiedad «que se conserva» (ni se crea ni se destruye), use el teorema del transporte de Reynolds para encontrar una expresión para la velocidad de variación de la masa de sal M_{sal} del depósito.

P3.10 En la Figura P3.10 se presenta agua fluyendo a través de un conducto de 8 cm de diámetro que entra en una

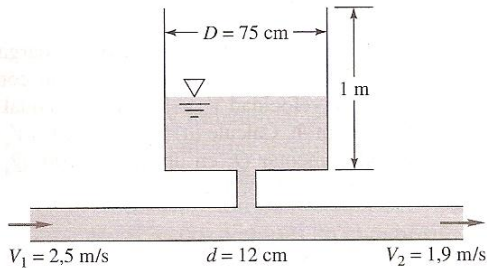


P3.10

sección porosa. Esta sección permite una velocidad radial uniforme v_w a través de las superficies de la pared durante una longitud de 1,2 m. Si la velocidad media en la entrada V_1 es 12 m/s, determine la velocidad en la salida V_2 si (a) $v_w = 15$ cm/s hacia fuera del conducto o (b) $v_w = 10$ cm/s hacia dentro del conducto. (c) ¿Cuál es el valor de v_w que hace que $V_2 = 9$ m/s?

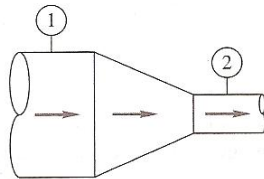
P3.11 Una habitación contiene polvo con una concentración uniforme $C = \rho_{\text{polvo}}/\rho$. La habitación se quiere limpiar introduciendo aire fresco con velocidad V_i a través de un conducto de área A_i sobre una pared y extrayendo el aire de la habitación a una velocidad V_o a través de otro conducto de área A_o sobre la pared opuesta. Obtenga una expresión para la velocidad instantánea de cambio de la masa de polvo de la habitación.

P3.12 El flujo de la Figura P3.12 llena el depósito cilíndrico que se muestra. En el instante $t = 0$, la profundidad del agua del depósito es de 30 cm. Estime el tiempo requerido para llenar el resto del depósito.



P3.12

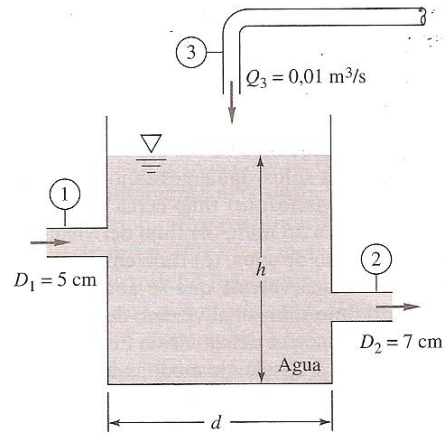
P3.13 En la Figura P3.13 se presenta un flujo estacionario de 40 kg/s de agua a 20 °C a través de una tobera. Si $D_1 = 18$ cm y $D_2 = 5$ cm, calcule la velocidad media en metros por segundo en (a) la sección 1 y (b) la sección 2.



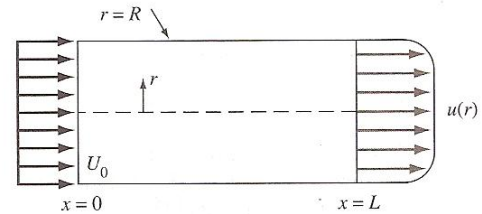
P3.13

P3.14 El depósito abierto de la Figura P3.14 contiene agua a 20 °C y se está rellendo a través de la sección 1. Suponiendo flujo incompresible, obtenga una expresión analítica para el cambio de nivel del agua dh/dt en función de los flujos volumétricos (Q_1 , Q_2 , Q_3) y el diámetro del depósito d . Hecho esto, si el nivel del agua h es constante, determine la velocidad de salida V_2 dados los datos $V_1 = 3$ m/s y $Q_3 = 0,01$ m³/s.

P3.15 En la Figura P3.15 se presenta agua, considerada incompresible, fluyendo de forma estacionaria en un conducto de sección circular. La velocidad en la entrada es constante, $u = U_0$, y la velocidad en la salida se aproxima por la de un flujo turbulento, $u = u_{\text{máx}}(1 - r/R)^{1/7}$. Determine la relación $U_0/u_{\text{máx}}$ de este flujo.



P3.14

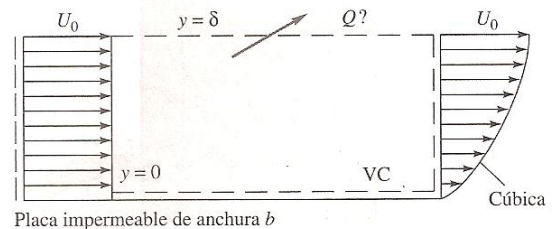


P3.15

P3.16 Un fluido incompresible pasa sobre una placa plana impermeable como se muestra en la Figura P3.16, entrando con un perfil de velocidades uniforme $u = U_0$ y saliendo con un perfil polinómico

$$u = U_0 \left(\frac{3\eta - \eta^3}{2} \right) \quad \text{donde } \eta = \frac{y}{\delta}$$

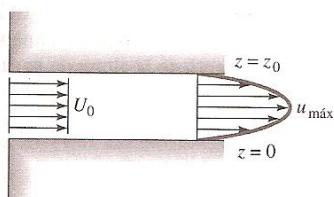
Calcule el caudal que atraviesa la superficie superior del volumen de control.



P3.16

P3.17 El flujo compresible y estacionario entre dos placas paralelas de la Figura P3.17 es uniforme, $u = U_0 = 8$ cm/s, mientras que aguas abajo el flujo pasa a tener el perfil laminar parabólico $u = az(z_0 - z)$, donde a es constante. Si $z_0 = 4$ cm y el fluido es aceite SAE 30 a 20 °C, ¿cuál es el valor de $u_{\text{máx}}$ en cm/s?

P3.18 Un fluido incompresible se mueve de forma estacionaria a través del conducto de sección rectangular de la

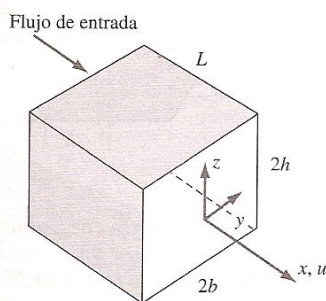


P3.17

Figura P3.18. El perfil de velocidades está dado aproximadamente por

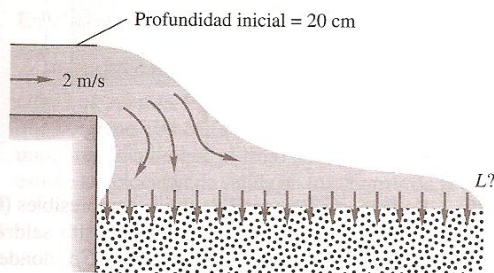
$$u = u_{\text{máx}} \left(1 - \frac{y^2}{b^2} \right) \left(1 - \frac{z^2}{h^2} \right)$$

- (a) ¿Satisface este perfil las condiciones de contorno correspondientes a un fluido viscoso? (b) Encuentre una expresión analítica para el caudal en la salida. (c) Si el gasto en la entrada es de 300 ft³/min, estime $u_{\text{máx}}$ en metros por segundo para $b = h = 10$ cm.



P3.18

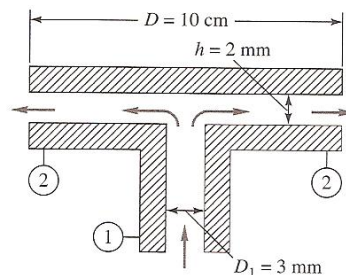
- P3.19 El agua de una tormenta fluye hasta caer sobre un lecho poroso que absorbe el agua a una velocidad vertical uniforme de 8 mm/s, como se muestra en la Figura P3.19. El sistema tiene una anchura de 5 m. Determine la longitud L del lecho que se requiere para absorber completamente el agua de la tormenta.



P3.19

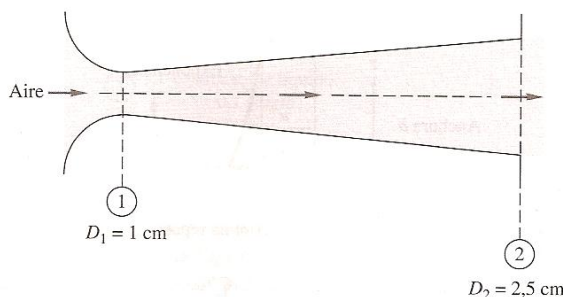
- P3.20 En la Figura P3.20 se presenta un flujo de aceite ($S = 0,89$) que entra a través de la sección 1 con un flujo de peso de 250 N/h para lubricar un cojinete de empuje. El aceite fluye radialmente de forma estacionaria hacia

el estrecho hueco que hay entre las dos placas. Calcule (a) el caudal de salida en mililitros por segundo y (b) la velocidad media de salida en centímetros por segundo.



P3.20

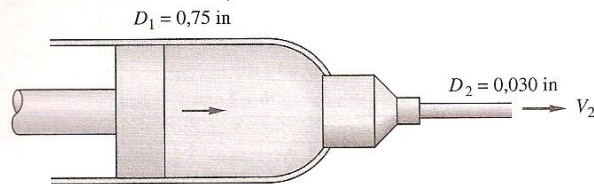
- P3.21 Un deshumidificador toma aire saturado (100 por 100 de humedad relativa) a 30 °C y 1 atm, a través de una toma de 8 cm de diámetro y con una velocidad media de 3 m/s. Después de que parte del vapor de agua se condense y se extraiga del fondo, el aire sale aproximadamente a 30 °C, 1 atm, y 50 por 100 de humedad relativa. Si se opera en forma estacionaria, estime la cantidad de agua que se extraerá en kilogramos por hora. (Este problema es una idealización de un deshumidificador real.)
- P3.22 La tobera convergente-divergente de la Figura P3.22 expande y acelera aire seco hasta hacerle alcanzar velocidades supersónicas en la salida, donde $p_2 = 8$ kPa y $T_2 = 240$ K. En la garganta, $p_1 = 284$ kPa, $T_1 = 665$ K y $V_1 = 517$ m/s. Suponiendo flujo estacionario y compresible de un gas ideal, estime (a) el gasto másico en kilogramos por hora, (b) la velocidad V_2 y (c) el número de Mach Ma_2 .



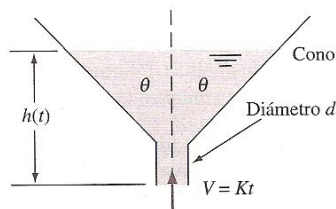
P3.22

- P3.23 La aguja hipodérmica de la Figura P3.23 contiene suero ($S = 1,05$). Si se tiene que inyectar este suero de forma estacionaria a 6 cm³/s, ¿a qué velocidad en pulgadas por segundo debe avanzarse el émbolo (a) si se desprecian las pérdidas en la aguja y (b) si hay una pérdida del 10 por 100 en el flujo en la aguja?
- *P3.24 En el cono de la Figura P3.24 está entrando agua con una velocidad media que aumenta linealmente con el tiempo $V = Kt$. Si d es muy pequeño, obtenga una fórmula analítica para la altura de agua $h(t)$ con las con-

diciones iniciales $h = 0$ en $t = 0$. Suponga flujo incompresible.

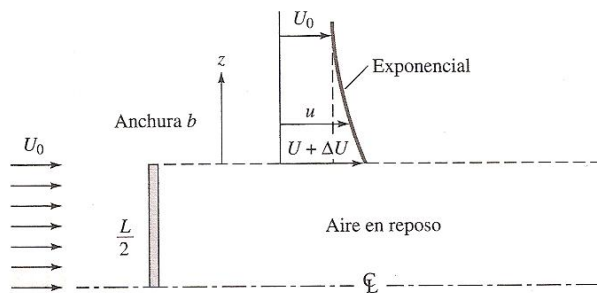


P3.23



P3.24

- P3.25** Según se discutirá en los Capítulos 7 y 8, el flujo de una corriente uniforme U_0 perpendicular a una placa plana crea tras ella una estela de baja velocidad. En la Figura P3.25 se presenta un modelo simple en el que, por simetría, sólo aparece la mitad del flujo. El perfil de velocidades tras la placa se idealiza como una zona «muerta» (con velocidad casi nula) más una zona con velocidad superior a la incidente que decae verticalmente según la ley $u \approx U_0 + \Delta U e^{-z/L}$, donde L es la altura de la placa y $z = 0$ es la parte superior de la estela. Determine ΔU en función de la velocidad de la corriente U_0 .

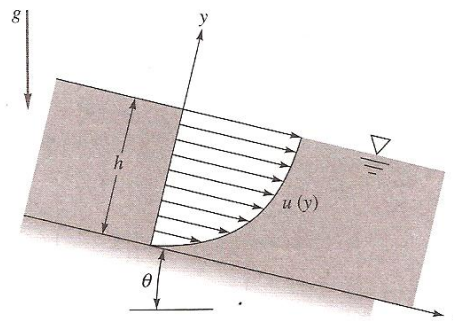


P3.25

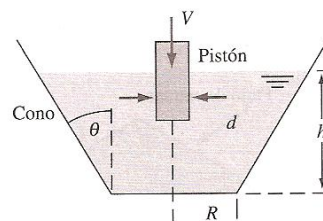
- P3.26** En la Figura P3.26 una fina capa de líquido se desliza sobre un plano inclinado con un perfil de velocidades laminar $u \approx U_0(2y/h - y^2/h^2)$, donde U_0 es la velocidad de la superficie. Si el plano tiene una anchura b perpendicular al papel, determine el caudal de la capa de líquido. Suponga que $h = 0,5$ in y que el caudal por cada pie de anchura del canal es 1,25 gal/min. Estime U_0 en pies por segundo.

***P3.27** El cono truncado de la Figura P3.27 contiene un líquido incompresible con una altura h . Un pistón sólido de

diámetro d penetra en la superficie con una velocidad V . Obtenga una expresión analítica para la velocidad de aumento de la altura de la superficie del líquido dh/dt

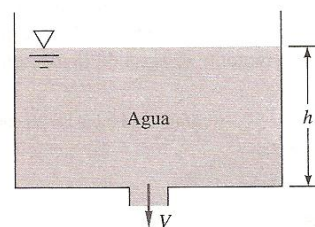


P3.26



P3.27

- P3.28** De acuerdo con el teorema de Torricelli, la velocidad de un fluido que descarga por el orificio de un depósito es $V \approx (2gh)^{1/2}$, donde h es la altura de agua sobre el orificio, como se muestra en la Figura P3.28. Si el orificio tiene una sección A_o y el depósito es cilíndrico con una sección transversal de área $A_d \gg A_o$, obtenga una fórmula para el tiempo que el depósito tardará en vaciarse completamente si la altura inicial de agua es h_o .

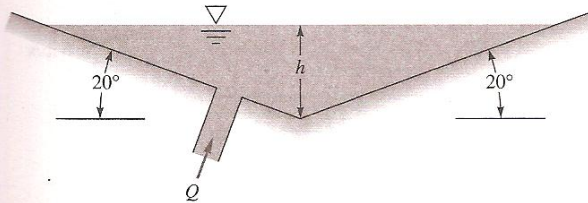


P3.28

- P3.29** En la teoría elemental de flujos compresibles (Capítulo 9), el aire comprimido de un depósito saldrá por un orificio con un gasto másico $\dot{m} \approx C\rho$, donde ρ es la densidad del aire en el depósito y C es una constante. Si ρ_0 es la densidad inicial en un depósito de volumen \mathcal{V} , obtenga una fórmula para el cambio de densidad $\rho(t)$ cuando se abre el orificio. Aplique esta fórmula al siguiente caso: un depósito esférico de 50 cm de diámetro, con una presión inicial de 300 kPa y una temperatura de 100 °C, y un orificio cuyo gasto volumétrico

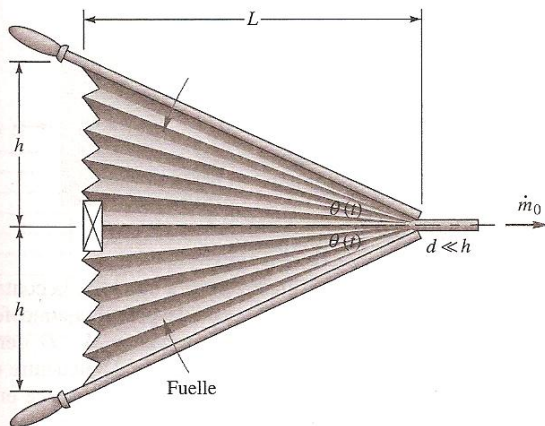
inicial de salida es de 0,01 kg/s. Determine el tiempo requerido para que la densidad del depósito se reduzca al 50 por 100.

- *P3.30** El depósito en forma de V de la Figura P3.30 tiene una anchura b y se llena mediante un conducto con caudal Q . Obtenga una expresión para (a) la velocidad de cambio de altura dh/dt y (b) el tiempo que se requiere para que la superficie pase de h_1 a h_2 .



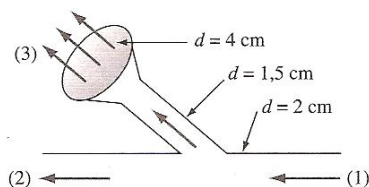
P3.30

- P3.31** Un fuelle se puede modelar como un volumen deformable con forma de cuña como el de la Figura P3.31. La válvula de la izquierda está cerrada mientras se cierra el fuelle. Si la anchura del sistema es b , obtenga una expresión para el flujo másico \dot{m}_0 como función del ángulo $\theta(t)$.



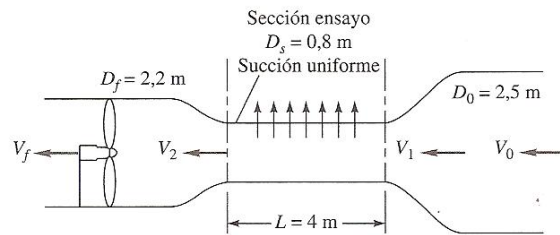
P3.31

- P3.32** En el conjunto de tuberías de la Figura P3.32 fluye agua a 20 °C de forma estacionaria, entrando por la sección 1 a 20 gal/min. La velocidad media en la sección 2 es 2,5 m/s. Parte del flujo se desvía a una ducha que contiene 100 orificios de 1 mm de diámetro cada uno. Suponiendo que el flujo en la ducha es uniforme, estime la velocidad de salida en los chorros de la ducha.



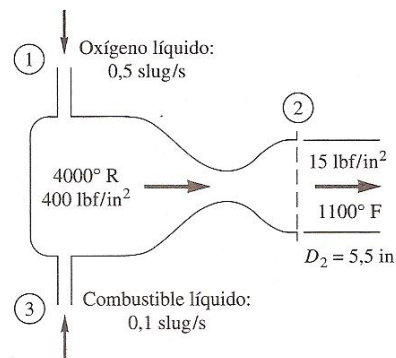
P3.32

- P3.33** En algunos túneles de viento, la sección de ensayos está perforada para succionar el fluido y reducir el espesor de la capa límite viscosa. La pared de la sección de ensayos de la Figura P3.33 contiene 1200 orificios de 5 mm de diámetro por metro cuadrado de pared. La velocidad de succión por cada orificio es $V_s = 8$ m/s, y la velocidad de entrada a la sección de ensayos es $V_1 = 35$ m/s. Suponiendo un flujo de aire estacionario e incompresible a 20 °C, calcule (a) V_0 , (b) V_2 y (c) V , en metros por segundo.



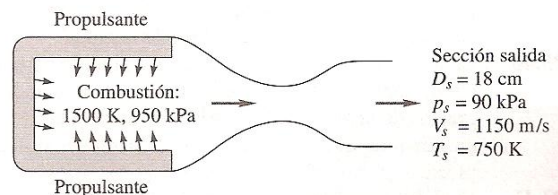
P3.33

- P3.34** El motor cohete de la Figura P3.34 opera en régimen estacionario. Los productos de la combustión salen por la tobera comportándose aproximadamente como un gas perfecto con un peso molecular de 28. Para las condiciones antes dadas, calcule V_2 en pies por segundo.



P3.34

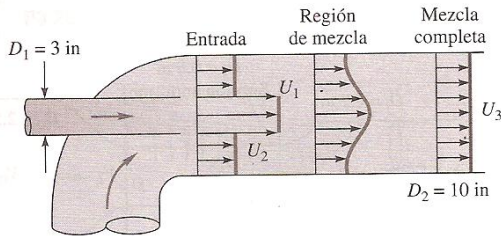
- P3.35** En contraste con el motor cohete de combustible líquido de la Figura P3.34, el motor cohete de combustible sólido de la Figura P3.35 es autónomo y no tiene conductos de entrada. Usando un análisis de volúmenes de control, calcule, para las condiciones de la Figura P3.35, el ritmo al que disminuye la masa de pro-



P3.35

pulsante suponiendo que el gas de la salida tiene un peso molecular de 28.

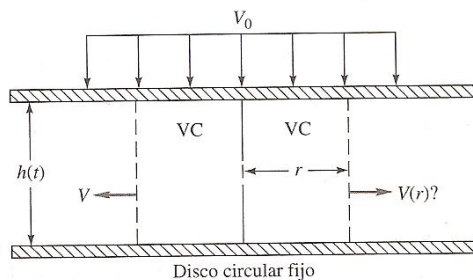
- P3.36** La bomba de chorro de la Figura P3.36 inyecta agua a $U_1 = 40$ m/s a través de un conducto de 3 in y arrastra a un flujo de agua que tiene una velocidad $U_2 = 3$ m/s en la región anular alrededor del chorro. Los dos flujos se mezclan completamente aguas abajo, donde la velocidad U_3 es aproximadamente constante. Calcule U_3 en metros por segundo en un flujo estacionario e incompresible.



P3.36

- P3.37** Un cilindro sólido de acero de 4,5 cm de diámetro y 12 cm de longitud, con una masa de 1500 g, cae de forma concéntrica por un conducto vertical de 5 cm de diámetro que contiene aceite ($S = 0,89$). Suponiendo que el aceite es incompresible, estime la velocidad media del aceite en el hueco anular entre el cilindro y el conducto (a) relativa al conducto y (b) relativa al cilindro.

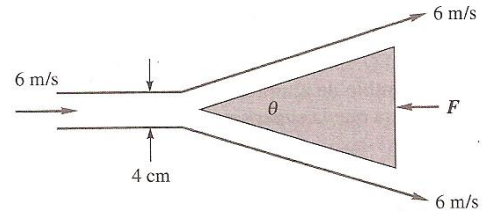
- P3.38** El fluido incompresible de la Figura P3.38 está siendo aplastado entre dos grandes discos circulares por el movimiento uniforme con velocidad V_0 del disco superior. Suponiendo que el flujo de escape es radial y unidimensional, use el volumen de control mostrado para obtener una expresión para $V(r)$.



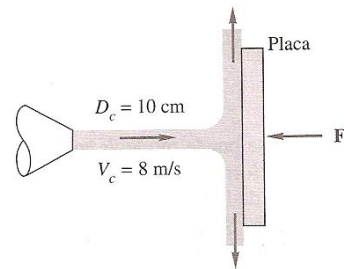
P3.38

- P3.39** Una cuña divide una capa de agua a 20 °C según se muestra en la Figura P3.39. Tanto la cuña como la capa de agua son muy anchas. Si la fuerza requerida para mantener la cuña quieta es $F = 124$ N por metro de anchura, ¿cuál es el ángulo θ de la cuña?
- P3.40** El chorro de agua de la Figura P3.40 incide perpendicularmente sobre una placa plana. Despreciando los efectos de la gravedad y la fricción, calcule la fuerza F en newtons que se requiere para mantener quieta la placa.
- P3.41** El álabe de la Figura P3.41 hace que el chorro de agua dé la vuelta completamente. Obtenga una expresión

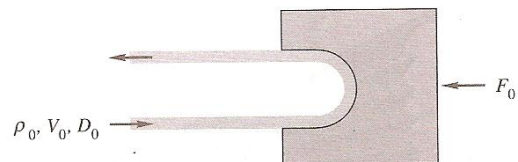
para la máxima velocidad en el chorro V_0 si la máxima fuerza admisible es F_0 .



P3.39

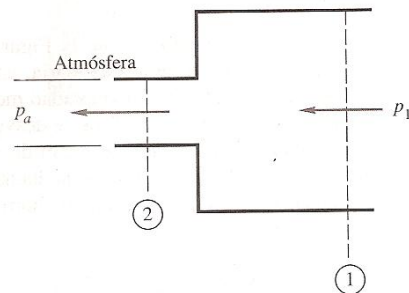


P3.40



P3.41

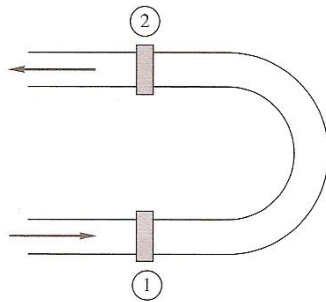
- P3.42** Un líquido de densidad ρ fluye a través de la contracción de la Figura P3.42 y sale después a la atmósfera. Suponiendo condiciones uniformes (p_1, V_1, D_1) en la sección 1 y (p_2, V_2, D_2) en la sección 2, encuentre una expresión para la fuerza F que el fluido ejerce en la contracción.



P3.42

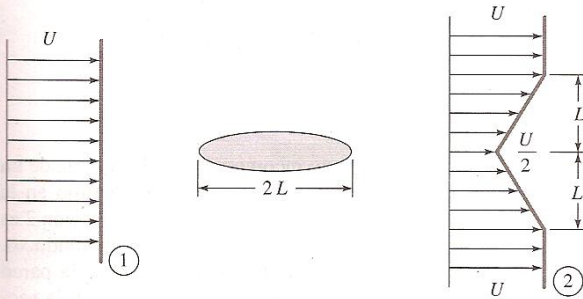
- P3.43** En la Figura P3.43 se presenta el flujo de agua a 20 °C a través de un conducto de 5 cm de diámetro que tiene una curva de 180°. La longitud total del conducto entre las bridas 1 y 2 es de 75 cm. El flujo de peso es de

230 N/s con $p_1 = 165$ kPa y $p_2 = 134$ kPa. Despreciando el peso del conducto, determine la fuerza total que deben soportar las bridas en este flujo.



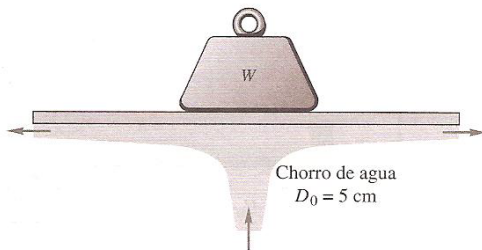
P3.43

*P3.44 Cuando una corriente uniforme se mueve alrededor de un cilindro grueso, se crea una amplia estela de baja velocidad que se puede idealizar con un perfil en V como el de la Figura P3.44. Las presiones p_1 y p_2 son aproximadamente iguales. Si el flujo es bidimensional e incompresible, con una anchura b , obtenga una expresión para la fuerza de resistencia F del cilindro. Reescriba el resultado en la forma de un *coeficiente de resistencia* adimensional basado en la longitud del cuerpo $C_D = F/(\rho U^2 b L)$.



P3.44

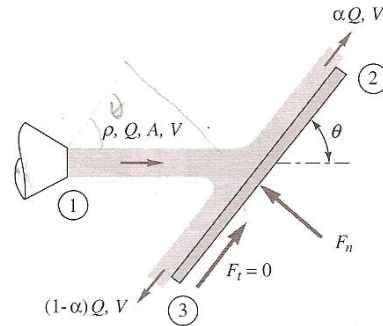
P3.45 En la Figura P3.45, un peso sobre una plataforma son soportados por un chorro de agua estacionario. Si el peso total soportado es de 700 N, ¿cuál es la velocidad del chorro?



P3.45

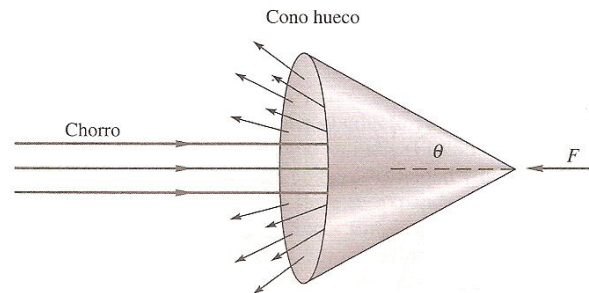
P3.46 Cuando un chorro incide sobre una placa inclinada, como la de la Figura P3.46, se parte en dos chorros 2

y 3 de igual velocidad $V = V_{ch}$ pero con caudales diferentes: αQ en 2 y $(1 - \alpha)Q$ en la sección 3, siendo α la fracción correspondiente. El motivo es que, en un flujo sin fricción, el fluido no puede ejercer fuerza tangencial F_t sobre la placa. La condición $F_t = 0$ nos permite obtener α . Realice este análisis y obtenga α como función del ángulo de la placa θ . ¿Por qué la respuesta no depende de las propiedades del flujo?



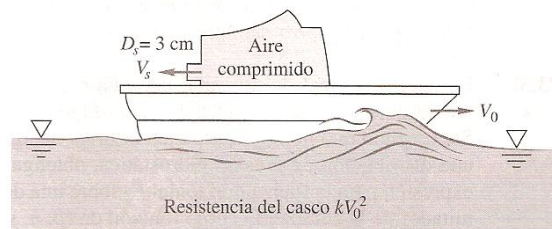
P3.46

P3.47 El chorro líquido de diámetro D_i y velocidad V_i incide sobre el cono hueco en reposo de la Figura P3.47, que lo deflecta hacia atrás como una capa cónica con igual velocidad. Determine el ángulo θ para el que la fuerza sobre el cono sea $F = \frac{3}{2} \rho A_i V_i^2$.



P3.47

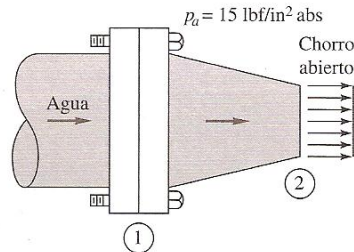
P3.48 El pequeño barco de la Figura 3.48 es impulsado a velocidad V_0 por un chorro de aire comprimido que sale de un orificio de 3 cm de diámetro a una velocidad de $V_s = 343$ m/s. Las condiciones de salida del chorro son $p_s = 1$ atm y $T_s = 30$ °C. La resistencia del aire se



P3.48

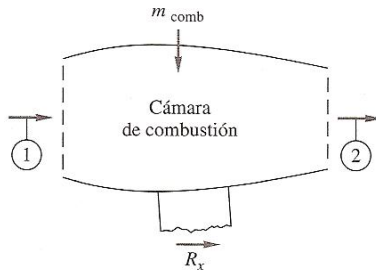
considera despreciable y la resistencia del casco es kV_0^2 , donde $k \approx 19 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$. Estime la velocidad del barco V_0 en metros por segundo.

- P3.49** La tobera horizontal de la Figura P3.49 tiene $D_1 = 12 \text{ in}$ y $D_2 = 6 \text{ in}$, con una presión en la entrada $p_1 = 38 \text{ lbf/in}^2$ absoluta y $V_2 = 56 \text{ ft/s}$. Con agua a 20°C , calcule la fuerza horizontal que proporcionan los tornillos de la brida de sujeción para mantener fija la tobera.



P3.49

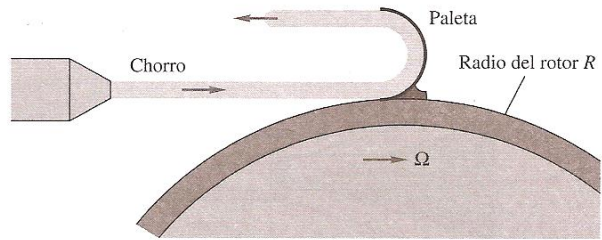
- P3.50** El motor a reacción de un banco de ensayos representado en la Figura P3.50 toma aire a 20°C y 1 atm por la sección 1, donde $A_1 = 0,5 \text{ m}^2$ y $V_1 = 250 \text{ m/s}$. La relación aire combustible es 1:30. El aire abandona la sección 2 a la presión atmosférica y una temperatura superior, donde $V_2 = 900 \text{ m/s}$ y $A_2 = 0,4 \text{ m}^2$. Calcule la reacción horizontal R_x en el banco que se requiere para mantener fijo el motor.



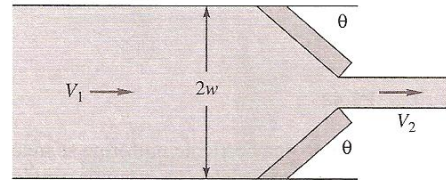
P3.50

- P3.51** Un chorro líquido de velocidad V_c y área A_c incide sobre la paleta de 180° del rotor de una turbina que gira a velocidad Ω , como se muestra en la Figura P3.51. Obtenga una expresión para la potencia P producida por la turbina en ese instante como función de los parámetros del sistema. ¿A qué velocidad angular se produce la máxima potencia? ¿Cómo cambiaría el análisis en el caso de disponer de muchas paletas en la turbina, de forma que el chorro siempre incidiera sobre una de ellas?

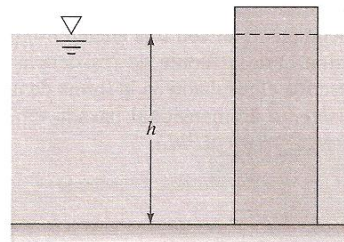
- P3.52** La puerta vertical de un canal de agua está parcialmente abierta, como se muestra en la Figura P3.52. Suponiendo que no hay cambio en el nivel de agua y una distribución de presión hidrostática, obtenga una expresión para la fuerza horizontal F_x sobre una de las mitades de la compuerta como función de $(\rho, h, w, \theta, V_1)$. Aplique este resultado al caso de agua a 20°C , $V_1 = 0,8 \text{ m/s}$, $h = 2 \text{ m}$, $w = 1,5 \text{ m}$ y $\theta = 50^\circ$.



P3.51



Vista en planta



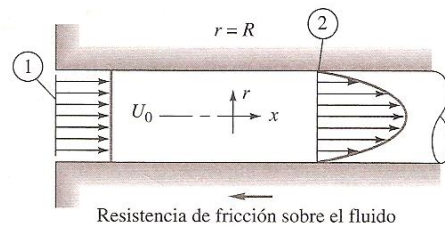
Vista de perfil

P3.52

- P3.53** Se considera el flujo incompresible a la entrada de un conducto circular de la Figura P3.53. El flujo en la entrada es uniforme $u_1 = U_0$. El flujo en la sección 2 es el flujo completamente desarrollado en un conducto. Determine la fuerza de resistencia F sobre la pared en función de (p_1, p_2, ρ, U_0, R) si el flujo en la sección 2 es

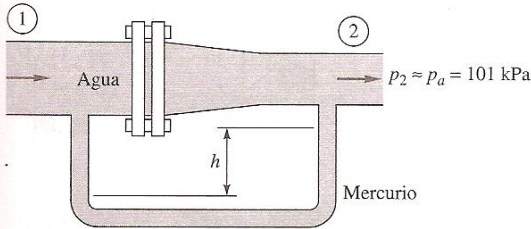
(a) Laminar: $u_2 = u_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$

(b) Turbulento: $u_2 \approx u_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{1/7}$



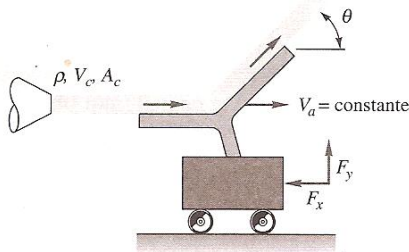
P3.53

- P3.54** El flujo en el conducto de sección variable de la Figura P3.54 tiene $D_1 = 8$ cm, $D_2 = 5$ cm y $p_2 = 1$ atm. Todos los fluidos se encuentran a 20°C . Si $V_1 = 5$ m/s y la lectura del manómetro es $h = 58$ cm, estime la fuerza total que resisten las bridas.



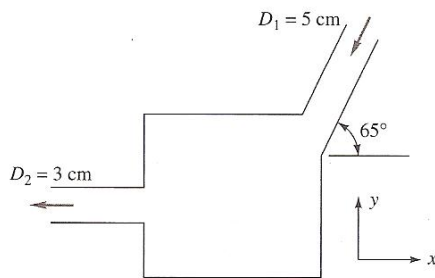
P3.54

- P3.55** El chorro de la Figura P3.55 incide sobre un álabe que se mueve hacia la derecha con velocidad constante V_a sobre un carro sin fricción. Calcule (a) la fuerza F_x que se requiere para sujetar el álabe al carro y (b) la potencia P que se le proporciona al carro. Determine también la velocidad del carro para la que (c) la fuerza F_x es máxima y (d) la potencia P es máxima.



P3.55

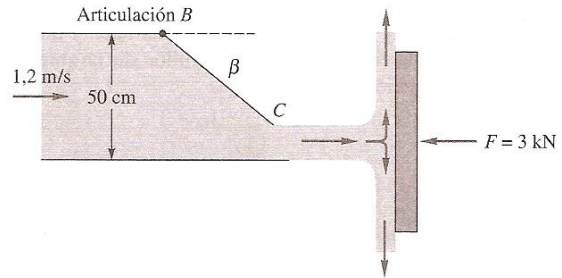
- P3.56** El agua de la Figura P3.56 fluye de forma estacionaria a 20°C a través de la caja representada, entrando por la sección (1) a 2 m/s. Calcule (a) la fuerza horizontal y (b) vertical que se requieren para mantener quieta la caja.



P3.56

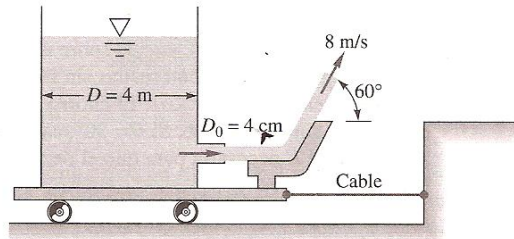
- P3.57** En la Figura P3.57 se representa agua moviéndose a través de un conducto de 50 cm de alto y 1 m de ancho. La compuerta BC cierra completamente el conducto cuando $\beta = 90^\circ$. Suponiendo flujo unidimensional,

¿cuál es el ángulo β que hará que la fuerza del chorro de salida sobre la placa sea de 3 kN?



P3.57

- P3.58** El depósito de agua de la P3.58 está colocado sobre un carro sin fricción y alimenta un chorro de 4 cm de diámetro con una velocidad de 8 m/s que se deflexa 60° por medio de un álabe. Calcule la tensión en el cable.

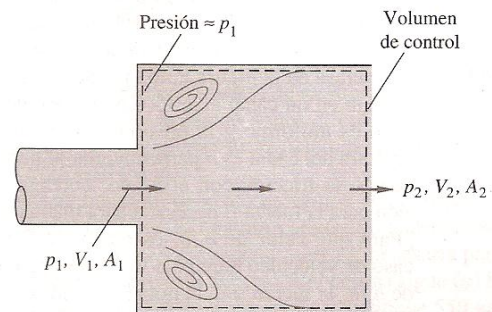


P3.58

- P3.59** Cuando el flujo en un conducto se expande súbitamente de A_1 a A_2 , como se indica en la Figura P3.59, aparecen torbellinos de baja velocidad y baja fricción en las esquinas y el flujo se expande de forma gradual hasta A_2 aguas abajo. Empleando el volumen de control sugerido para flujo estacionario y suponiendo que $p \approx p_1$ en la esquina anular, como se muestra, demuestre que la presión aguas abajo está dada por

$$p_2 = p_1 + \rho V_1^2 \frac{A_1}{A_2} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)$$

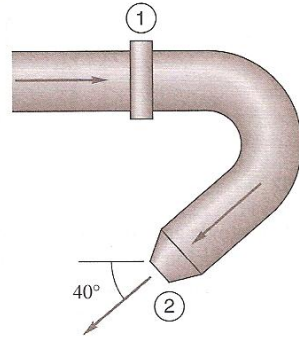
Desprecie la fricción en la pared.



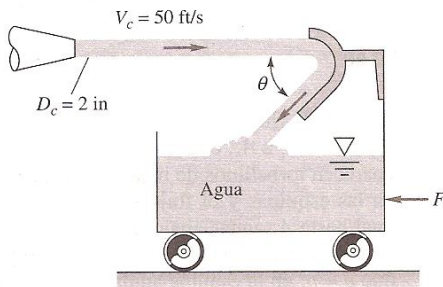
P3.59

$$\frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{mg} = \text{Flujo en peso.}$$

- P3.60** Por el codo de la Figura P3.60 fluye agua a 20 °C que se descarga a la atmósfera. El diámetro del conducto es $D_1 = 10$ cm, mientras que $D_2 = 3$ cm. Cuando el flujo de peso es de 150 N/s, la presión $p_1 = 2,3$ atm (manométrica), y despreciando el peso del agua y del codo, estime la fuerza sobre los tornillos de la abrazadera de la sección 1.

**P3.60**

- P3.61** Un chorro de agua a 20 °C incide sobre un álabe subido a un depósito dotado con ruedas sin fricción, como se muestra en la Figura P3.61. El chorro gira y cae en el depósito sin derramarse. Si $\theta = 30^\circ$, calcule la fuerza horizontal F necesaria para que el depósito permanezca en reposo.

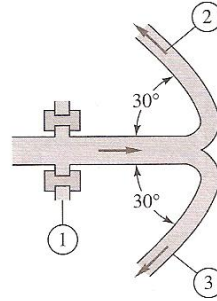
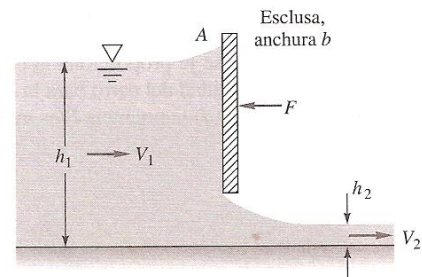
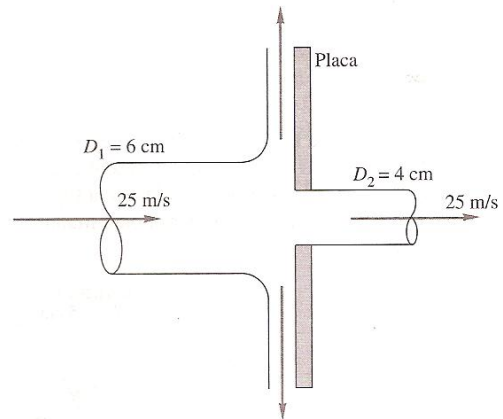
**P3.61**

- P3.62** En la Figura P3.62 se presenta cómo agua a 20 °C sale a la atmósfera al nivel del mar a través de dos conductos. Las áreas de los conductos son $A_1 = 0,02$ m² y $A_2 = A_3 = 0,008$ m². Si $p_1 = 135$ kPa (absoluta) y el caudal es $Q_2 = Q_3 = 275$ m³/h, calcule la fuerza sobre los tornillos de la abrazadera de la sección 1.

- *P3.63** La esclusa de la Figura P3.63 puede controlar y medir el flujo en un canal abierto. En las secciones 1 y 2 el flujo es uniforme y la presión es la hidrostática. La anchura del canal es b perpendicular al papel. Despreciando la fricción con el fondo, obtenga una expresión para la fuerza F necesaria para mantener la puerta. ¿Para qué valor de h_2/h_1 es mayor la fuerza? En el caso de velocidad muy baja $V_1^2 \ll gh_1$, ¿para qué valor de h_2/h_1 la fuerza será la mitad de la máxima?

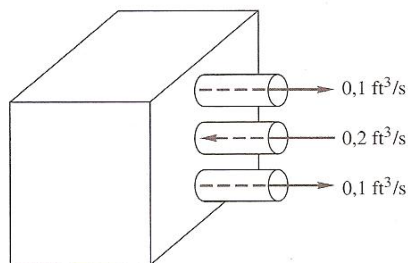
- P3.64** El chorro de agua a 20 °C de 6 cm de diámetro de la Figura P3.64 incide sobre una placa que contiene un

orificio de 4 cm de diámetro. Parte del chorro pasa a través del orificio y parte se deflecta. Determine la fuerza horizontal requerida para mantener la placa.

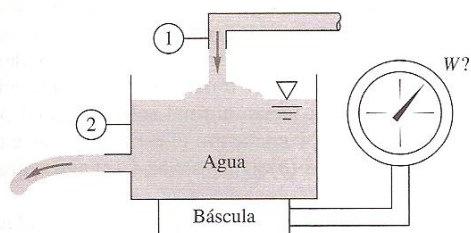
**P3.62****P3.63****P3.64**

- P3.65** La caja de la Figura P3.65 tiene tres orificios de 0,5 in en su lado derecho. Los caudales de agua a 20 °C que se muestran son estacionarios, pero los detalles del interior son desconocidos. Calcule la fuerza, de existir, que el flujo de agua causa sobre la caja.

- P3.66** El depósito de la Figura P3.66 pesa 500 N vacío y contiene 600 l de agua a 20 °C. Los conductos 1 y 2 tienen un diámetro de 6 cm y un caudal de 300 m³/h cada uno. ¿Cuál sería la lectura de W en newtons?

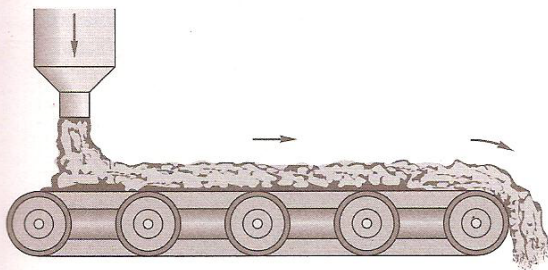


P3.65



P3.66

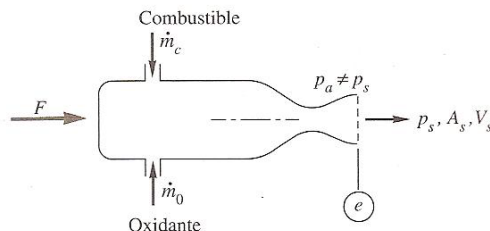
P3.67 Una tolva está descargando grava, a un ritmo de 650 N/s, sobre una cinta transportadora en movimiento, como se muestra en la Figura P3.67. La grava se descarga al final de la cinta. Las ruedas de propulsión de la cinta tienen un diámetro de 80 cm y giran en sentido horario a 150 rpm. Estime la potencia requerida por esta cinta despreciando la fricción del sistema y la resistencia del aire.



P3.67

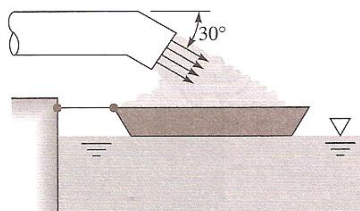
P3.68 El motor cohete de la Figura P3.68 tiene una salida supersonica, por lo que la presión en la salida p_s no tiene por qué ser p_a . Demostrar que la fuerza requerida para mantener el cohete en su banco de ensayos es $F = \rho_s A_s V_s^2 + A_s(p_s - p_a)$. ¿Es esta fuerza F lo que denominamos empuje del cohete?

P3.69 Una placa rectangular uniforme de 40 cm de longitud y 30 cm de anchura está sujeta en el aire mediante una bisagra que la soporta en su parte superior (los 30 cm de anchura). La placa es golpeada en su centro por un chorro de agua horizontal de 3 cm de diámetro con una velocidad de 8 m/s. Si la placa tiene una masa de 16 kg, estime el ángulo al que la placa queda en equilibrio con respecto a la vertical.



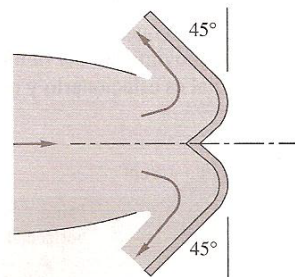
P3.68

P3.70 La draga de la Figura P3.70 está cargando arena ($S = 2.6$) sobre una barcaza. La arena sale del conducto de la draga a 4 ft/s con un flujo de peso de 850 lbf/s. Estime la tensión que este proceso de carga produce en la amarra.



P3.70

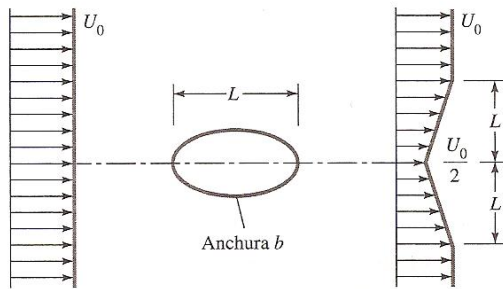
P3.71 Suponga que en el motor a reacción del Problema P3.50 se coloca un deflector como el de la Figura P3.71. ¿Cuál será ahora la reacción R_x sobre el banco? ¿Es esta reacción suficiente para servir de fuerza de frenada durante el aterrizaje de un avión?



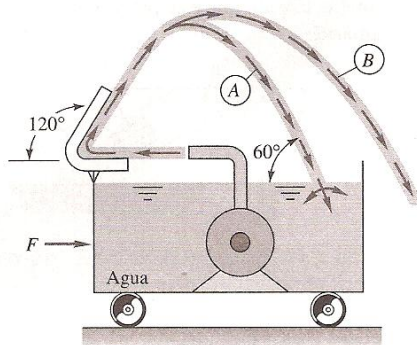
P3.71

***P3.72** El cilindro elíptico de la Figura P3.72 crea una estela ideal aguas abajo de la corriente uniforme. La presión en las secciones de aguas arriba y abajo es aproximadamente igual y se trata de agua a 20 °C. Si $U_0 = 4$ m/s y $L = 80$ cm, estime la fuerza de resistencia por unidad de anchura que se ejerce sobre el cilindro. Calcule también el coeficiente de resistencia adimensional $C_D = 2F/(\rho U_0^2 b L)$.

P3.73 Una bomba en un depósito de agua a 20 °C dirige el chorro a 45 ft/s y 200 gal/min contra un álabe, como en la Figura P3.73. Calcule la fuerza F necesaria para mantener el carro estacionario si el chorro sigue (a) la senda A o (b) la senda B. El depósito contiene 550 gal de agua en ese instante.

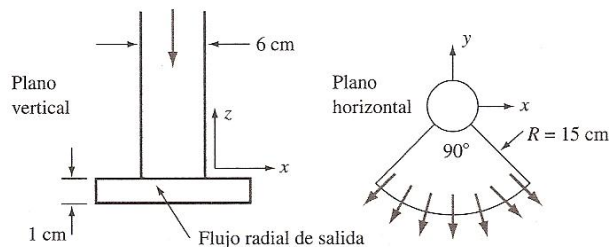


P3.72



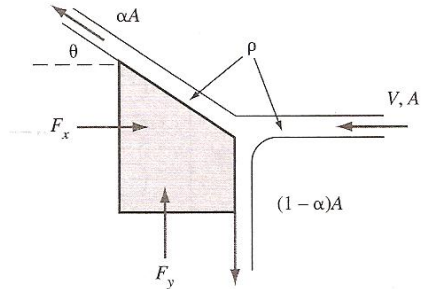
P3.73

P3.74 En la Figura P3.74 se representa un conducto de 6 cm de diámetro por el que fluye agua a 20 °C con un caudal de 300 gal/min. El flujo gira en la horizontal y sale radialmente por un conducto en forma de segmento circular 90° y 1 cm de espesor. Estime las fuerzas (F_x , F_y , F_z) requeridas para soportar los cambios de cantidad de movimiento del fluido, si se considera que el flujo radial es estacionario y uniforme.



P3.74

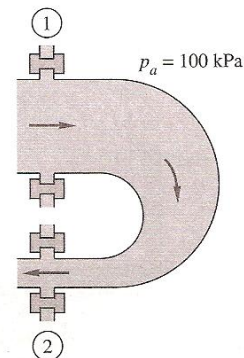
***P3.75** Un chorro de líquido de densidad ρ y área A incide sobre un bloque y se parte en dos chorros, como se muestra en la Figura P3.75. Suponga que los tres chorros tienen la misma velocidad V . El chorro superior sale con un ángulo θ y un área αA . El chorro inferior gira 90° hacia abajo. Despreciando el peso del fluido, (a) obtenga una expresión para las fuerzas (F_x , F_y) necesarias para retener el bloque. (b) Demuestre que $F_y = 0$ sólo si $\alpha \geq 0.5$. (c) Encuentre los valores de α y θ para los cuales F_x y F_y son nulos.



P3.75

P3.76 Una capa de agua bidimensional de 10 cm de espesor que se mueve a 7 m/s incide sobre una pared fija, inclinada 20° con respecto a la dirección del chorro. Suponiendo que se trata de un flujo sin fricción, encuentre (a) la fuerza normal sobre la pared por metro de anchura, y encuentre el espesor de las capas de agua desviadas (b) aguas arriba y (c) aguas abajo de la pared.

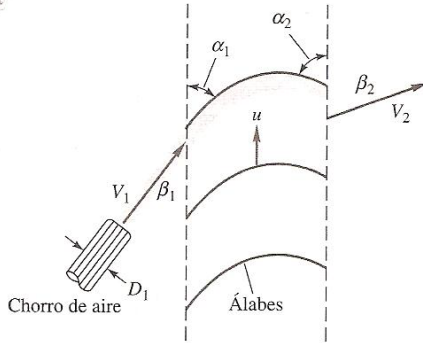
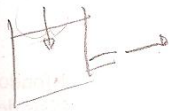
P3.77 En la Figura P3.77 se presenta un conducto curvo de sección variable por el que circula de forma estacionaria agua a 20 °C. Sabiendo que las condiciones son $p_1 = 350$ kPa, $D_1 = 25$ cm, $V_1 = 2.2$ m/s, $p_2 = 120$ kPa y $D_2 = 8$ cm, y despreciando el peso del conducto y del agua, estime la fuerza total que deben resistir los tornillos de la abrazadera.



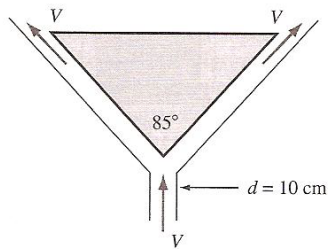
P3.77

P3.78 Un chorro de diámetro D_1 entra en la cascada de álabes móviles con una velocidad absoluta V_1 y un ángulo β_1 , abandonándola a una velocidad absoluta V_2 y un ángulo β_2 , tal y como se muestra en la Figura P3.78. Los álabes se mueven con velocidad u . Obtenga una fórmula para la potencia P producida por los álabes en función de los parámetros anteriores.

P3.79 En la Figura P3.79 se muestra el flujo de aire a 20 °C y 1 atm incidiendo sobre un rotámetro cónico de 85° con un gasto másico de 0,3 kg/s. Este chorro es capaz de soportar un cuerpo cónico mediante un flujo estacionario anular alrededor del cono, como se muestra en la figura. La velocidad del aire en la parte superior del cono es igual a la velocidad de entrada. Estime el peso del cuerpo en newtons.

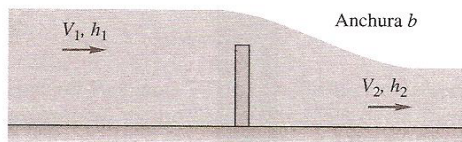


P3.78



P3.79

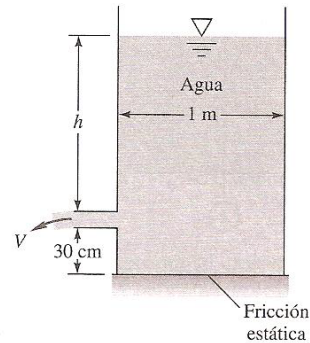
- P3.80** Un río de anchura b y profundidad h_1 pasa sobre el obstáculo sumergido o «presa anegada» de la Figura P3.80, emergiendo en unas nuevas condiciones de flujo (V_2 , h_2). Desprecie la presión atmosférica y suponga que la presión del agua es la correspondiente presión hidrostática en las secciones 1 y 2. Obtenga una expresión para la fuerza ejercida sobre el obstáculo en función de V_1 , h_1 , h_2 , b , ρ y g . Desprecie la fricción del agua sobre el fondo del río.



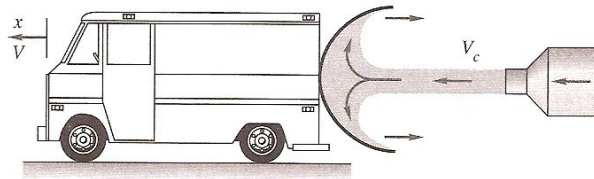
P3.80

- P3.81** La idealización de Torricelli del flujo por un orificio en la cara de un depósito es $V = \sqrt{2gh}$, según se muestra en la Figura P3.81. El depósito cilíndrico pesa 150 N vacío y contiene agua a 20 °C. El fondo del depósito está sobre hielo muy liso (coeficiente estático de fricción $\zeta \approx 0,01$). El diámetro del orificio es de 9 cm. ¿Para qué profundidad de agua h el depósito comienza a desplazarse a la derecha?

- *P3.82** El modelo de coche de la Figura P3.82 pesa 17 N y es acelerado desde el reposo por un chorro de agua de 1 cm de diámetro que se mueve a 75 m/s. Despreciando la resistencia del aire y el rozamiento de las ruedas, estime la velocidad del coche cuando se ha desplazado 1 m.

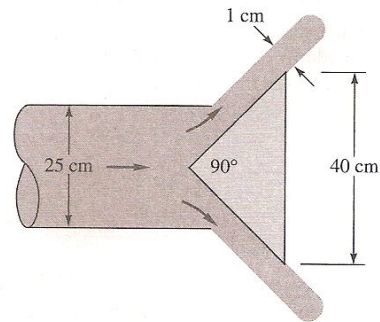


P3.81



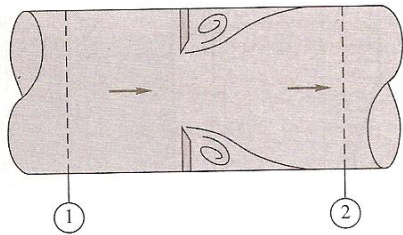
P3.82

- P3.83** Por un conducto de 5 cm de diámetro está circulando gasolina a 20 °C con $V_1 = 12$ m/s, cuando encuentra una sección 1 m de longitud con succión radial uniforme. Al final de esta región de succión, la velocidad media ha caído hasta $V_2 = 10$ m/s. Si $p_1 = 120$ kPa, estime p_2 si las pérdidas de fricción en la pared son despreciables.
- P3.84** Por un conducto de 25 cm de diámetro está circulando aire a 20 °C y 1 atm con 15 m/s. La salida es interrumpida por un cono de 90°, como muestra la figura P3.84. Estime la fuerza del aire sobre el cono.



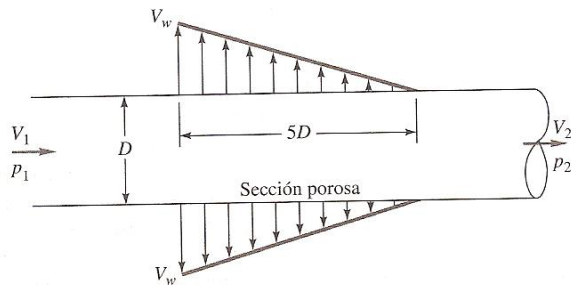
P3.84

- P3.85** Los orificios de la placa de la Figura P3.85 producen una gran caída de presión en el flujo de agua a 20 °C con 500 gal/min, un diámetro del conducto $D = 10$ cm y del orificio $d = 6$ cm, $p_1 - p_2 \approx 145$ kPa. Si la fricción en la pared es despreciable, estime la fuerza del agua sobre la placa perforada.
- P3.86** Añada los siguientes datos en el flujo de la bomba de agua del Problema P3.36: $p_1 = p_2 = 25$ lbf/in² y la distancia entre las secciones 1 y 3 es de 80 in. Si el es-

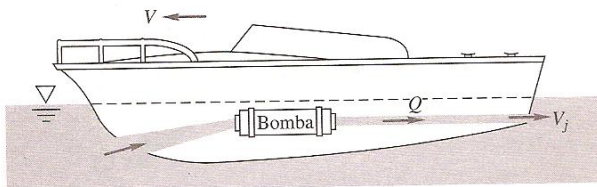
**P3.85**

fuerzo medio de cortadura sobre la pared entre las secciones 1 y 3 es de 7 lbf/ft², estime la presión p_3 . ¿Por qué es mayor que la p_1 ?

- P3.87** La Figura P3.87 simula el movimiento en un colector en el que se extrae flujo a través de una sección porosa o perforada de la pared. Suponga un flujo incompresible, con fricción en la pared despreciable y con una pequeña succión $V_w \ll V_1$. Si se conocen (p_1 , V_1 , V_w , ρ , D), obtenga expresiones para (a) V_2 y (b) p_2 .

**P3.87**

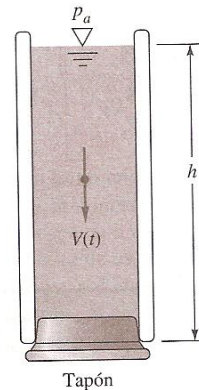
- P3.88** El barco de la Figura P3.88 está propulsado mediante el chorro impulsado por una bomba que produce un caudal Q y evacua agua por la popa del barco a una velocidad V_c . Si la fuerza de resistencia del barco es $F = kV^2$, donde k es una constante, obtenga una fórmula para la velocidad estacionaria de avance del barco V .

**P3.88**

- P3.89** Considere la Figura P3.36 como un problema general para el análisis de una bomba de eyección. Si todas las condiciones (p , ρ , V) son conocidas en las secciones 1 y 2 y si la fricción en la pared es despreciable, obtenga fórmulas para estimar (a) V_3 y (b) p_3 .

- P3.90** Como se muestra en la Figura P3.90, una columna de líquido de altura h está confinada mediante un tapón en un tubo vertical de sección transversal A . En $t = 0$ se

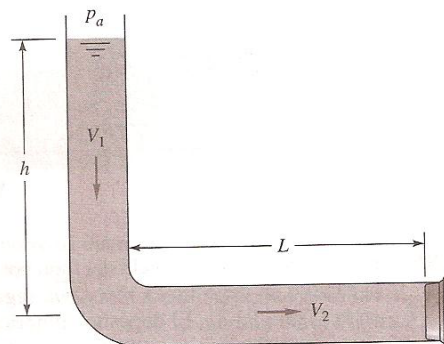
quita bruscamente el tapón, exponiendo el fondo del tubo a la presión atmosférica. Usando el análisis de volúmenes de control de la masa y la cantidad de movimiento, obtenga la ecuación diferencial del movimiento de descarga $V(t)$ del líquido. Suponga flujo incompresible, unidimensional y sin fricción.

**P3.90****P3.91**

Extienda el Problema P3.90 para incluir un esfuerzo medio de resistencia sobre la pared con la forma lineal (laminar) $\tau \approx cV$, donde c es una constante. Obtenga la ecuación diferencial para dV/dt y resuélvala para $V(t)$ suponiendo, por simplicidad, que el área de la pared permanece constante.

***P3.92**

Una versión más complicada del Problema P3.90 es el tubo acodado de la Figura P3.92, con una sección transversal de área A y diámetro $D \ll h, L$. Suponiendo flujo incompresible y despreciando la fricción, obtenga una ecuación diferencial para dV/dt cuando se abre el tapón. *Consejo:* combine dos volúmenes de control, uno para cada rama del tubo.

**P3.92****P3.93**

Extienda el Problema P3.92 para incluir un esfuerzo de resistencia medio lineal (laminar) de la forma $\tau \approx cV$, donde c es una constante. Obtenga una ecuación diferencial para dV/dt y resuélvala para $V(t)$, suponiendo por simplicidad que el área de la pared permanece constante.

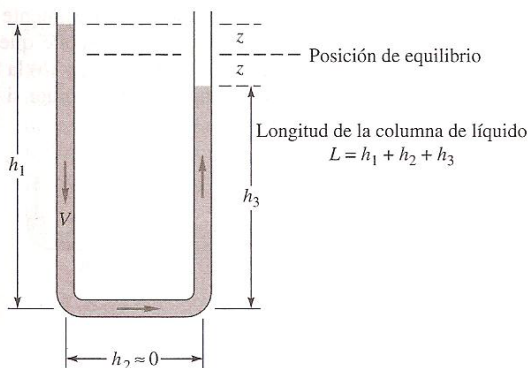
P3.94

Obtenga una solución numérica del Problema P3.93 con aceite SAE 30 a 20 °C. Tome $h = 20$ cm,

$L = 15$ cm y $D = 4$ mm. Use la aproximación de esfuerzo laminar de la Sección 6.4: $\tau \approx 8\mu V/D$, donde μ es la viscosidad del fluido. Tenga en cuenta la disminución del área mojada de la pared. Obtenga el tiempo requerido para vaciar (a) la rama vertical y (b) la rama horizontal.

P3.95 Obtenga una solución numérica del Problema P3.93 con aceite a 20°C . Tome $h = 20$ cm, $L = 15$ cm y $D = 4$ mm. Con mercurio el flujo será turbulento, por lo que los esfuerzos en la pared se pueden estimar como en la Sección 6.6: $\tau \approx 0.005\rho V^2$, donde ρ es la densidad del fluido. Tenga en cuenta la disminución del área mojada de la pared. Obtenga el tiempo requerido para vaciar (a) la rama vertical y (b) la rama horizontal. Compare con la solución si fricción.

P3.96 Extienda el Problema P3.90 al caso del movimiento de líquido en un tubo en U sin fricción cuya columna líquida se desplaza una altura Z para después soltarse, como se representa en la Figura P3.96. Desprecie la rama horizontal y combinar un análisis con volúmenes de control para las ramas derecha e izquierda para obtener una ecuación diferencial para la velocidad $V(t)$ de la columna de líquido.



P3.96

***P3.97** Extienda el Problema P3.96 para incluir un esfuerzo de resistencia medio lineal (laminar) de la forma $\tau \approx 8\mu V/D$, donde μ es la viscosidad del fluido. Obtenga la ecuación diferencial para dV/dt y resuélvala para obtener $V(t)$, suponiendo un desplazamiento inicial $z = z_0$, $V = 0$ en $t = 0$. El resultado debe ser una oscilación amortiguada que tienda a $z = 0$.

***P3.98** Considere una extensión del Ejemplo 3.10 en la que la placa y su carro (véase Figura 3.10a) no estén amarrados horizontalmente y la fricción en las ruedas sea nula. Obtenga (a) la ecuación del movimiento de la velocidad del carro $V_c(t)$ y (b) una expresión para el tiempo requerido por el carro para acelerar del reposo al 90 por 100 de la velocidad del chorro (suponiendo que el chorro sigue incidiendo sobre la placa de forma horizontal). (c) Calcule valores numéricos para el apartado (b) empleando las condiciones del Ejemplo 3.10 y una masa del carro de 2 kg.

P3.99 Considere que el cohete de la Figura E3.12 comienza a $z = 0$, con una velocidad de salida y flujo de masa

constantes y que sube verticalmente con resistencia nula. (a) Demuestre que, mientras se siga quemando combustible, la altura vertical $S(t)$ alcanzada está dada por

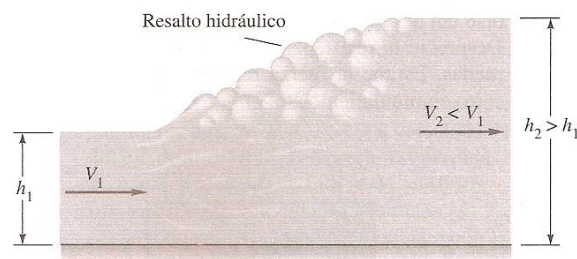
$$S = \frac{V_s M_o}{\dot{m}} [\zeta \ln \zeta - \zeta + 1], \text{ donde } \zeta = 1 - \frac{\dot{m} t}{M_o}$$

(b) Aplique esta expresión al caso en el que $V_s = 1500$ m/s y $M_o = 1000$ kg para encontrar la altura alcanzada después de 30 segundos, cuando la masa final del cohete es de 400 kg.

P3.100 Suponga que el cohete de combustible sólido del Problema P3.35 se instala en un misil de 70 cm de diámetro y 4 m de longitud. El sistema pesa 1800 N, que incluyen 700 N de propulsante. Desprecie la resistencia del aire. Si el misil se dispara verticalmente al nivel del mar desde el reposo, estime (a) su velocidad y altura cuando se ha consumido todo el combustible y (b) la máxima altura que alcanzará.

P3.101 Modifique el Problema P3.100 para tener en cuenta la resistencia del misil $F \approx C\rho D^2 V^2$, donde $C \approx 0.02$, ρ es la densidad del aire, D es el diámetro del misil y V es la velocidad del misil. Resuelva numéricamente para (a) la velocidad y la altura a la que se consume el combustible y (b) la máxima altura alcanzada.

P3.102 Al igual que se observa en el fregadero de una cocina cuando cae sobre él el agua del grifo, un canal de agua a gran velocidad (V_1, h_1) puede «saltar» a una condición de baja velocidad y baja energía (V_2, h_2) como se observa en la Figura P3.102. La presión en las secciones 1 y 2 es aproximadamente la hidrostática y la fricción en la pared es despreciable. Use las relaciones de continuidad y cantidad de movimiento para obtener h_2 y V_2 en función de (h_1, V_1).

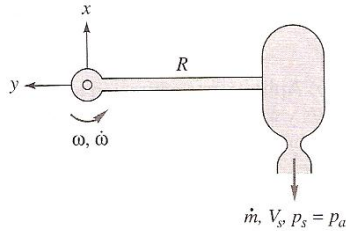


P3.102

***P3.103** Suponga que el cohete de combustible sólido del Problema P3.35 se monta sobre un carro de 1000 kg para propulsarlo sobre una larga pendiente de 15° . El motor cohete pesa 900 N, lo que incluye 500 N de propulsante. Si el carro está en reposo cuando el motor cohete se inicia y se desprecian la resistencia del aire y la fricción de las ruedas, estime la máxima distancia que el carro podrá viajar por la colina.

P3.104 Un cohete está sujeto a una barra horizontal articulada en el origen, como se muestra en la Figura P3.104. Su masa inicial es M_o , y las propiedades en la salida son \dot{m}

y V_s relativa al cohete. Obtenga la ecuación diferencial para el movimiento del cohete y resuélvala para la velocidad angular $\omega(t)$ de la barra. Desprecie el efecto de la gravedad, la resistencia del aire y la masa de la barra.

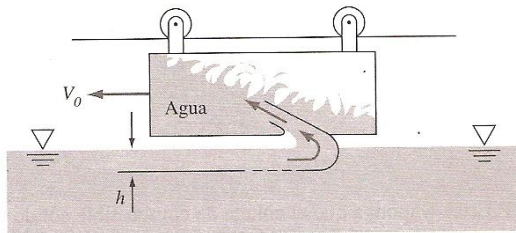


P3.104

P3.105 Extienda el Problema P3.104 al caso en el que el cohete tiene una fuerza de resistencia del aire lineal $F = cV$, donde c es una constante. Suponga que el cohete no se apaga, resuelva para $\omega(t)$ y encuentre la velocidad angular *terminal*, es decir, la condición final para la que la aceleración angular es nula. Aplique el resultado al caso $M_0 = 6$ kg, $R = 3$ m, $\dot{m} = 0,05$ kg/s, $V_s = 1100$ m/s y $c = 0,075$ N · s/m para encontrar la velocidad angular tras 12 s de combustión.

P3.106 Extienda el Problema P3.104 al caso en el que el cohete tiene una fuerza de resistencia del aire cuadrática $F = kV^2$, donde k es una constante. Suponga que el cohete no se apaga, resuelva para $\omega(t)$ y encuentre la velocidad angular *terminal*, es decir, la condición final para la que la aceleración angular es nula. Aplique el resultado al caso $M_0 = 6$ kg, $R = 3$ m, $\dot{m} = 0,05$ kg/s, $V_s = 1100$ m/s y $k = 0,0011$ N · s/m para encontrar la velocidad angular tras 12 s de combustión.

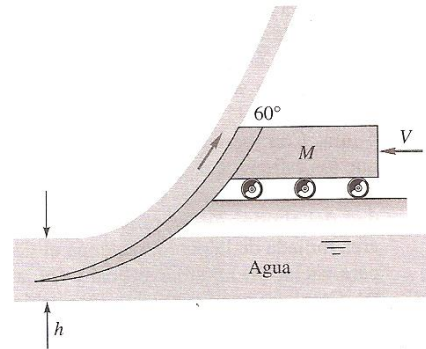
P3.107 El carro de la Figura P3.107 se desplaza con una velocidad constante $V_0 = 12$ m/s y toma agua con una pala de 8 cm de ancho que entra $h = 2,5$ cm en un estanque. Desprecie la resistencia del aire y la fricción de las ruedas. Estime la fuerza requerida para mantener el carro en movimiento.



P3.107

***P3.108** El trineo de la Figura P3.108 está propulsado por un cohete, tiene una masa M y se decelera mediante una pala de anchura b perpendicular al papel, que se sumerge en el agua hasta una profundidad h , creando un chorro hacia arriba con un ángulo de 60° . El empuje del cohete es T hacia la izquierda. Si la velocidad inicial es V_0 y se desprecian la resistencia del aire y la

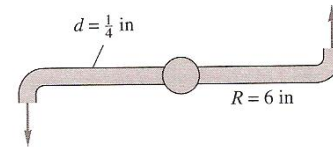
fricción de las ruedas, obtenga una expresión para la velocidad del trineo $V(t)$ cuando (a) $T = 0$ y (b) $T \neq 0$.



P3.108

P3.109 Aplique el Problema P3.108 al siguiente caso: $M_{\text{total}} = 900$ kg, $b = 60$ cm, $h = 2$ cm y $V_0 = 120$ m/s, con el cohete del Problema P3.35 en funcionamiento. Estime V tras 3 s.

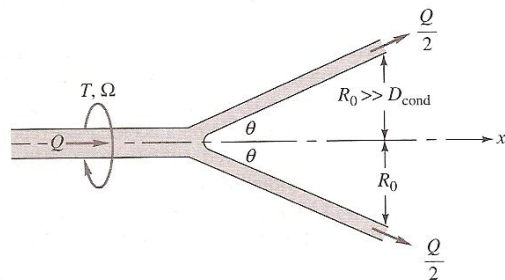
P3.110 El aspersor de la Figura P3.110 tiene un caudal de agua de 4,0 gal/min introducida verticalmente por su centro. Estime (a) el momento resistente que se requiere para evitar que los brazos giren y (b) la velocidad de rotación en revoluciones por minuto si no hay momento de retención.



P3.110

P3.111 Encuentre el momento que se produce en la abrazadera 1 del Problema P3.60 si el punto de salida 2 está 1,2 m por debajo del centro de la abrazadera.

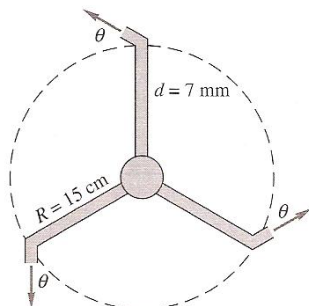
P3.112 La unión en «Y» de la Figura P3.112 divide el flujo del conducto en dos de igual caudal $Q/2$, que salen, como se muestra, a una distancia R_0 del eje. Desprecie la gravedad y la fricción. Obtenga una expresión para el momento T respecto al eje x requerido para mantener el sistema girando con velocidad angular Ω .



P3.112

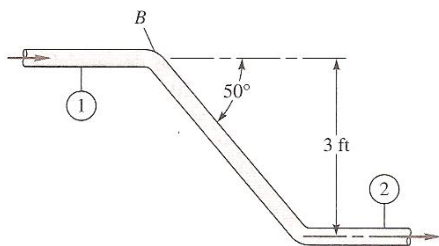
P3.113 Modifique el Ejemplo 3.14 de forma que el brazo comienza en reposo y acelera hasta su velocidad angular final. El momento de inercia del brazo alrededor de O es I_O . Despreciando la resistencia del aire, encuentre $d\omega/dt$ e intégrala para determinar la velocidad angular $\omega(t)$, suponiendo que $\omega = 0$ en $t = 0$.

P3.114 El aspersor de la Figura P3.114 recibe agua a 20°C a través de su centro a $2,7\text{ m}^3/\text{h}$. Si la fricción del cuello es despreciable, ¿cuál es la velocidad de rotación estacionaria en revoluciones por minuto para (a) $\theta = 0^\circ$ y (b) $\theta = 40^\circ$?



P3.114

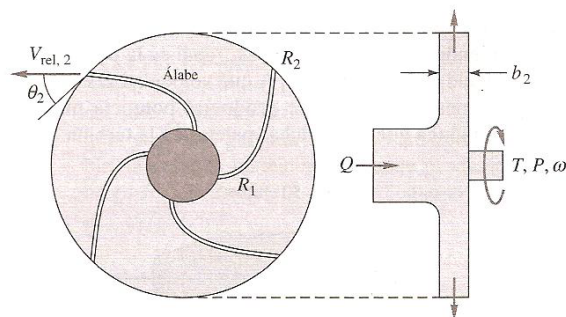
P3.115 Por el conducto doblemente acodado de $0,75\text{ in}$ de diámetro de la Figura P3.115 circula agua a 20°C con un caudal de 30 gal/min . Las presiones son $p_1 = 30\text{ lbf/in}^2$ y $p_2 = 24\text{ lbf/in}^2$. Calcule el momento T en el punto B necesario para mantener el conducto sin rotación.



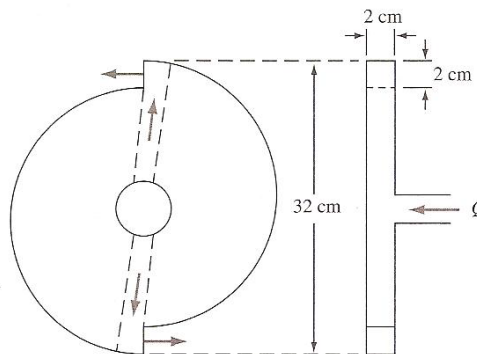
P3.115

P3.116 La bomba centrífuga de la Figura P3.116 tiene un caudal Q que abandona el rotor con un ángulo θ_2 relativo a los álabes, según se muestra. El fluido entra axialmente en la sección 1. Suponiendo un flujo incompresible y una velocidad angular Ω del rotor, obtenga una expresión para la potencia P requerida para moverlo.

P3.117 Una turbomáquina simple está construida mediante un disco con dos conductos internos que salen tangencialmente a través de dos orificios cuadrados, como se muestra en la Figura P3.117. Un flujo de agua a 20°C entra perpendicularmente por el centro del disco, según se representa. El disco debe mover a 250 rpm un pequeño dispositivo mediante un par de $1,5\text{ N}\cdot\text{m}$. ¿Cuál es el gasto másico de agua necesario en kilos por segundo?



P3.116



P3.117

P3.118 Invierta el flujo de la Figura P3.116 de forma que el sistema funcione como una turbina de flujo radial. Suponiendo que el flujo que sale por la sección 1 no tiene velocidad tangencial, obtenga una expresión para la potencia P extraída por la turbina.

P3.119 Revise la cascada de álabes de turbina del Problema P3.78 y obtenga una fórmula para la potencia producida P usando el teorema del momento cinético de la Ecuación (3.55).

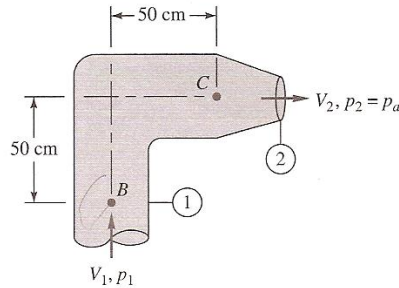
P3.120 El rotor de una bomba centrífuga proporciona 4000 gal/min de agua a 20°C con una velocidad de rotación del eje de 1750 rpm . Desprecie las pérdidas. Si $r_1 = 6\text{ in}$, $r_2 = 14\text{ in}$, $b_1 = b_2 = 1,75\text{ in}$, $V_{r1} = 10\text{ ft/s}$ y $V_{r2} = 110\text{ ft/s}$, calcule las velocidades absolutas (a) V_1 , (b) V_2 y (c) la potencia requerida. (d) Compare con la potencia ideal requerida.

P3.121 El tubo acodado de la Figura P3.121 tiene $D_1 = 27\text{ cm}$ y $D_2 = 13\text{ cm}$. Por él circulan 4000 gal/min de agua a 20°C con $p_1 = 194\text{ kPa}$ (manométrica). Calcule el momento requerido en el punto B para mantener el tubo quieto.

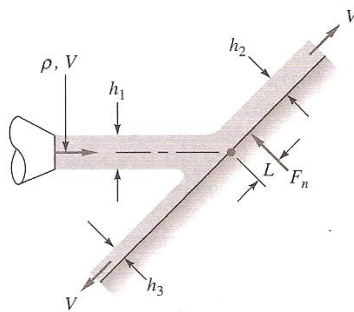
***P3.122** Extienda el Problema P3.46 al cálculo del centro de presiones L de la fuerza normal F_n , según se representa en la Figura P3.122. (En el centro de presiones no se requiere momento para mantener la placa estacionaria). Desprecie la fricción. Expresé los resultados en función del espesor de la capa h_1 y del ángulo θ entre la placa y el chorro incidente 1.

P3.123 La turbina de agua de la Figura P3.123 está siendo impulsada a 200 rpm por un chorro de agua a 20°C

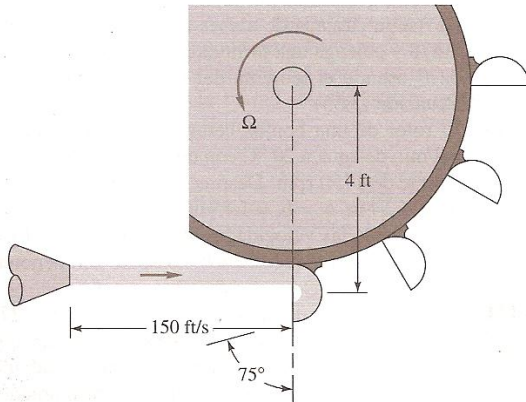
con 150 ft/s. El diámetro del chorro es 2,5 in. Suponiendo que no hay pérdidas, ¿cuál es la potencia producida por la turbina? ¿A qué velocidad Ω en revoluciones por minuto se producirá potencia máxima? Suponga que hay muchas paletas en la turbina.



P3.121

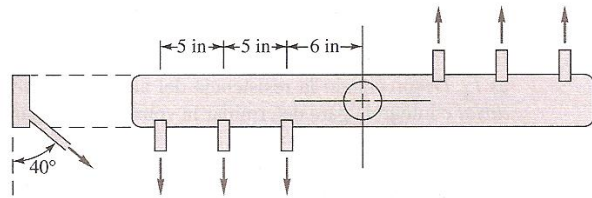


P3.122



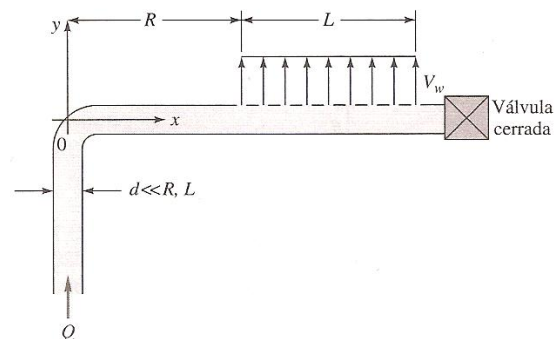
P3.123

P3.124 El brazo rotatorio de un lavavajillas proporciona agua a 60 °C a seis boquillas, como en la Figura P3.124. El caudal total es de 3,0 gal/min. Cada boquilla tiene un diámetro de 3/16 in. Si el flujo es igual en todas las boquillas y se desprecia la fricción, estime la velocidad de rotación estacionaria en revoluciones por minuto.



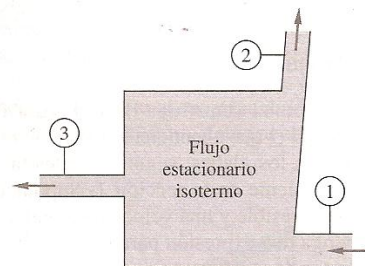
P3.124

***P3.125** Un líquido de densidad ρ fluye por un codo de 90° como se muestra en la Figura P3.125 y sale verticalmente a través de una sección uniformemente porosa de longitud L . Despreciando el peso de líquido y conducto, obtenga una expresión del par M con respecto al punto O que se requiere para mantener el conducto estacionario.



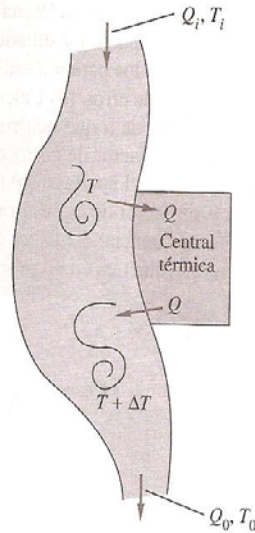
P3.125

P3.126 A través del dispositivo de la Figura P3.126 fluye agua a 20 °C. Los efectos de transferencia de calor, gravedad y temperatura son despreciables. Son conocidos $D_1 = 9$ cm, $Q_1 = 220$ m³/h, $p_1 = 150$ kPa, $D_2 = 7$ cm, $Q_2 = 100$ m³/h, $p_2 = 225$ kPa, $D_3 = 4$ cm y $p_3 = 265$ kPa. Calcule el trabajo motor realizado por este dispositivo y su dirección.



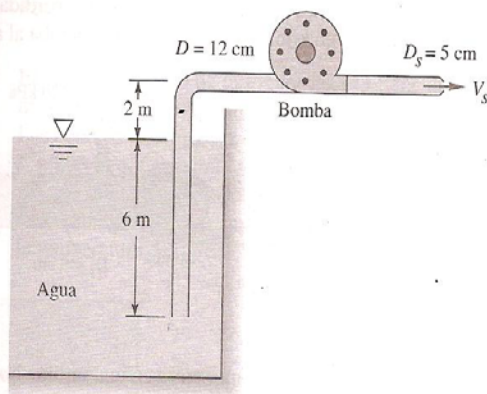
P3.126

P3.127 Una central térmica situada en un río, según se muestra en la Figura P3.127, debe eliminar 55 MW de calor a la corriente. Las condiciones aguas arriba del río son $Q_e = 2,5$ m³/s y $T_e = 18$ °C. El río tiene 45 m de ancho y 2,7 m de profundidad. Si se desprecian las pérdidas de calor a la atmósfera y al terreno, estime las condiciones del río aguas abajo de la central (Q_o, T_o).



P3.127

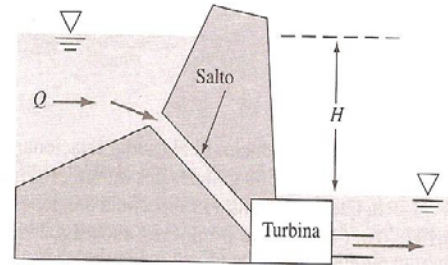
- P3.128** Si para las condiciones del Problema P3.127, la planta de potencia no puede calentar el agua a más de 12°C , ¿cuál será el caudal mínimo Q en metros cúbicos por segundo a través del cambiador de calor? ¿Cómo afectará el valor de Q a las condiciones aguas abajo (Q_o , T_o)?
- P3.129** La cascada de Multnomah en el barranco del río Columbia tiene una caída de 543 ft. Estime el cambio de temperatura en el agua en $^\circ\text{F}$ causada por la caída, empleando la ecuación de la energía de un flujo estacionario.
- P3.130** Cuando la bomba de la Figura P3.130 proporciona $220 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua a 20°C desde el depósito, la pérdida total de carga por fricción es de 5 m. El flujo se descarga a la atmósfera a través de una tobera. Estime la potencia en kilovatios que la bomba proporciona al agua.



P3.130

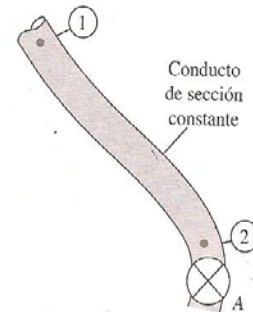
- P3.131** Cuando la bomba de la Figura P3.130 proporciona una potencia de 25 kW al agua, la pérdida de carga por fricción es de 4 m. Estime (a) la velocidad de salida V_s y (b) el caudal Q .
- P3.132** Considere una turbina que extrae energía del salto hidráulico de la presa de la Figura P3.132. Para un flujo

turbulento en un conducto (Capítulo 6) la pérdida de carga por fricción es de aproximadamente $h_f = CQ^2$, donde la constante C depende de las dimensiones del salto y de las propiedades del agua. Demuestre que, para una geometría dada y un caudal Q variable, la máxima potencia que puede producir la turbina es $P_{\text{máx}} = 2\rho g H Q/3$ y ocurre cuando el caudal es $Q = \sqrt{H/(3C)}$.



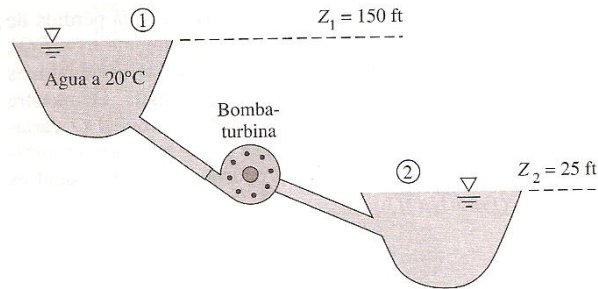
P3.132

- P3.133** El conducto de la Figura P3.133 está lleno de agua a 20°C . Cuando la válvula A está cerrada, $p_1 - p_2 = 75 \text{ kPa}$. Cuando la válvula está abierta y el agua fluye a $500 \text{ m}^3/\text{h}$, $p_1 - p_2 = 160 \text{ kPa}$. En ese caso, ¿cuál es la pérdida por fricción entre 1 y 2, expresada en metros?



P3.133

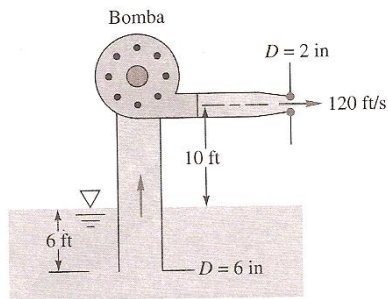
- P3.134** Un conducto de 36 in de diámetro transporta aceite ($S = 0.89$) con un caudal de 1 millón de barriles al día (bbl/día) (1 bbl = 42 galones U.S.). La pérdida de carga por fricción es de 13 ft/1000 ft de conducto. Se planea colocar una estación de bombeo cada 10 millas. Estime la potencia que cada bomba debe proporcionar al aceite.
- P3.135** El sistema bomba-turbina de la Figura P3.135 admite agua del depósito superior para proporcionar energía a la ciudad. Por la noche bombea agua del depósito inferior al superior para reestablecer la situación anterior. Para un caudal de diseño de 15.000 gal/min en cada dirección, la pérdida de carga por fricción es de 17 ft. Estime la potencia en kilovatios (a) extraída por la turbina y (b) requerida por la bomba.
- P3.136** A través de un conducto de 8 cm de diámetro se transporta agua a 20°C de un depósito a otro. La superficie del depósito inferior está a una altura $z_2 = 80 \text{ m}$. Las pérdidas por fricción están representadas por la fórmula $h_{\text{fric}} \approx 17.5(V^2/2g)$, donde V es la velocidad me-



P3.135

dia en el conducto. Si el caudal estacionario en el conducto es de 500 galones por minuto, estime la altura a la que se encuentra la superficie del depósito superior.

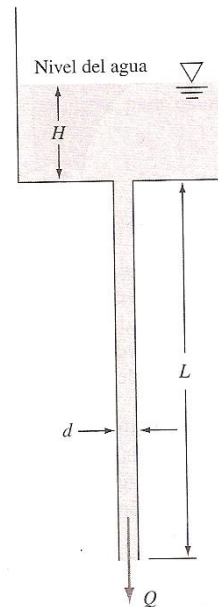
P3.137 Una bomba de bomberos saca agua del mar ($S = 1.025$) mediante un tubo sumergido y la descarga a través de una tobera, según se representa en la Figura P3.137. La pérdida total de carga es de 6,5 ft. Si el rendimiento de la bomba es del 75 por 100, ¿a qué potencia se requiere que funcione la bomba?



P3.137

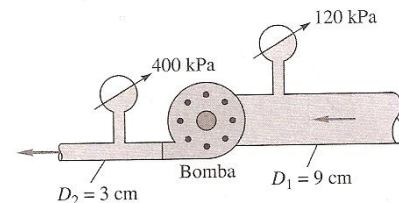
***P3.138** Los estudiantes del laboratorio de la Universidad de Penn utilizan un dispositivo muy simple para medir la viscosidad del agua como función de la temperatura. El viscosímetro, representado en la Figura P3.138, está formado por un depósito, un tubo capilar vertical largo, un cilindro graduado, un termómetro y un cronómetro. Debido al pequeño diámetro del tubo el flujo en su interior permanece laminar, y debido a su gran longitud las pérdidas en la entrada son despreciables. Como se demostrará en el Capítulo 6, la pérdida de carga debido al flujo laminar en un conducto está dada por $h_{f, \text{laminar}} = (32\mu LV)/(\rho g d^2)$, donde V es la velocidad media a través del conducto. (a) En un experimento dado se conocen el diámetro d , la longitud L y la altura del nivel de agua H , y el caudal Q se mide mediante el cronómetro y el cilindro graduado. La temperatura del agua también se está midiendo. La densidad del agua a esa temperatura se obtiene pesando el volumen de agua conocido. Escriba una expresión para la viscosidad del agua como función de esas variables. (b) Los datos tomados de un experimento real son: $T = 16.5^\circ\text{C}$, $\rho = 998.7\text{ kg/m}^3$, $d = 0.041\text{ in}$, $Q = 0.310\text{ mL/s}$, $L = 36.1\text{ in}$ y $H = 0.153\text{ m}$. Basándose en estos experimen-

tales, calcule la viscosidad del agua en kilos por metro y segundo. (c) Compare el resultado experimental con los valores publicados para μ a esa temperatura y calcule el porcentaje de error. (d) Calcule el porcentaje de error en el cálculo de μ que ocurriría si un estudiante olvidara incluir el factor de corrección por el flujo de energía cinética en el apartado (b) (compare los resultados con y sin factor de corrección). Explique la importancia (o su carencia) del factor de corrección por el flujo de energía cinética en un problema como este.



P3.138

P3.139 La bomba horizontal de la Figura P3.139 descarga agua a 20°C con $57\text{ m}^3/\text{h}$. Despreciando las pérdidas, ¿qué potencia en kilovatios proporciona la bomba al agua?

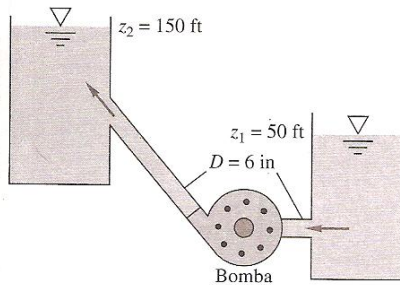


P3.139

P3.140 Una corriente de vapor entra en una turbina horizontal a una presión absoluta de 350 lbf/in^2 , 580°C y 12 ft/s y descarga a 110 ft/s y 25°C en condiciones saturadas. El gasto másico es de 2.5 lbm/s y las pérdidas de calor 7 Btu/lb . Si la pérdida de carga se considera despreciable, ¿qué potencia proporciona la turbina?

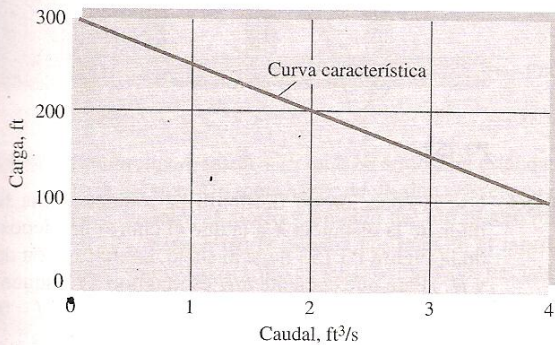
P3.141 Desde el depósito inferior de la Figura P3.141 se bombea agua a 20°C al depósito superior, con un caudal de 1500 gal/min . Las pérdidas en el conducto por fricción son aproximadamente $h_f \approx 27V^2/(2g)$, donde V es

la velocidad media en el conducto. Si el rendimiento de la bomba es del 75 por 100, ¿qué potencia se necesita para moverla?



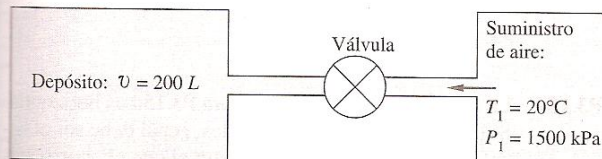
P3.141

- P3.142** Una bomba típica tiene una carga que, para una velocidad de rotación dada, varía con el caudal, dando una curva característica como la de la Figura P3.142. Suponiendo que el rendimiento de la bomba es del 75 por 100 y que se emplea en el sistema del Problema 3.141, estime (a) el caudal en galones por minuto y (b) la potencia necesaria para mover la bomba.



P3.142

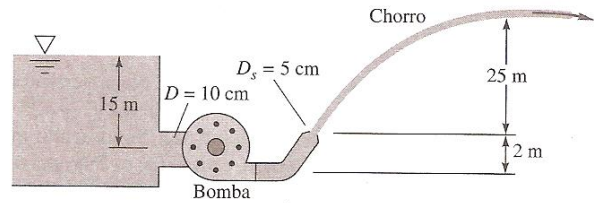
- P3.143** El depósito aislado de la Figura P3.143 tiene que llenarse mediante el suministro de aire a alta presión. Las condiciones iniciales del depósito son $T = 20^\circ\text{C}$ y $p = 200\text{ kPa}$. Cuando la válvula está abierta, el gasto másico inicial en el depósito es de $0,013\text{ kg/s}$. Suponiendo un gas ideal, estime el ritmo inicial de caída de la temperatura del aire del depósito.



P3.143

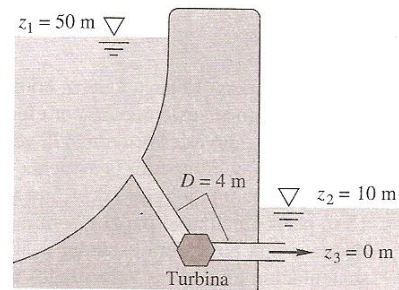
- P3.144** La bomba de la Figura P3.144 crea un chorro de agua a 20°C orientado de forma que viaje la máxima distancia horizontal posible. La pérdida de carga en el

sistema por fricción es de 6,5 m. El chorro se puede aproximar por la trayectoria de las partículas sin fricción. ¿Qué potencia debe proporcionar la bomba?



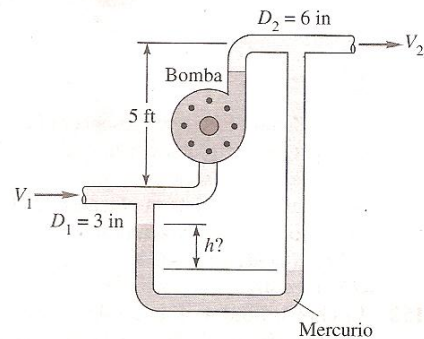
P3.144

- P3.145** La turbina de la Figura P3.145 utiliza el flujo del río canalizado bajo la presa, según se muestra. Las pérdidas del sistema por fricción son $h_f = 3,5V^2/(2g)$, donde V es la velocidad media en el conducto de entrada. ¿Para qué caudal en metros cúbicos por segundo se extraerá una potencia de 25 MW? ¿Cuál de las dos soluciones tiene un mejor «rendimiento de conversión»?



P3.145

- P3.146** La bomba de la Figura P3.146 mueve queroseno a 20°C a $2,3\text{ ft}^3/\text{s}$. La pérdida de carga entre 1 y 2 es de 8 ft y la bomba proporciona al flujo 8 hp de potencia. ¿Cuál sería la lectura h del manómetro en pies?



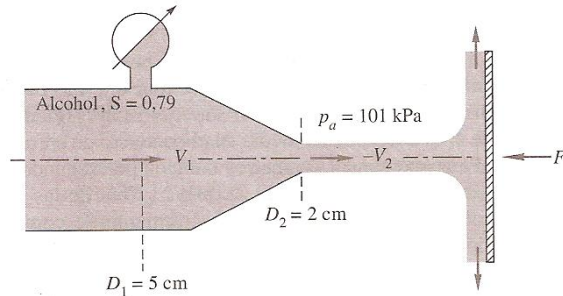
P3.146

- P3.147** Repita el Problema P3.49 suponiendo que p_1 es desconocida y empleando la ecuación de Bernoulli sin pérdidas. Calcule la nueva fuerza en los tornillos con esta

hipótesis. ¿Cuál es la pérdida de carga entre 1 y 2 con los datos del Problema P3.49?

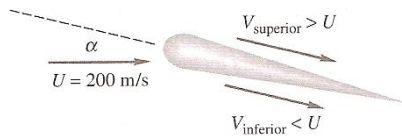
- P3.148** Analice de nuevo el Problema P3.54 para estimar la lectura h del manómetro si se considera válida la ecuación de Bernoulli sin pérdidas. Para la lectura $h \approx 58$ cm del Problema P3.54, ¿cuál es la pérdida de carga entre las secciones 1 y 2?

- P3.149** Un chorro de alcohol incide sobre la placa vertical de la Figura P3.149. Se necesita una fuerza $F \approx 425$ N para mantener la placa estacionaria. Suponiendo que no hay pérdidas en la tobera, estime (a) el flujo másico de alcohol y (b) la presión absoluta en la sección 1.



P3.149

- P3.150** Un perfil en ángulo de ataque α , como el de la Figura P3.150, produce sustentación por efecto Bernoulli, ya que la superficie inferior reduce la velocidad del flujo (alta presión) y la superior la aumenta (baja presión). Si el perfil tiene una longitud de 1,5 m y una anchura de 18 m perpendicular al papel y el aire ambiente corresponde a una atmósfera estándar a 5000 m, estime la sustentación total si las velocidades medias en las superficies superior e inferior son 215 m/s y 185 m/s, respectivamente. Desprecie el efecto de la gravedad. *Nota:* en este caso el ángulo α es aproximadamente de 3° .

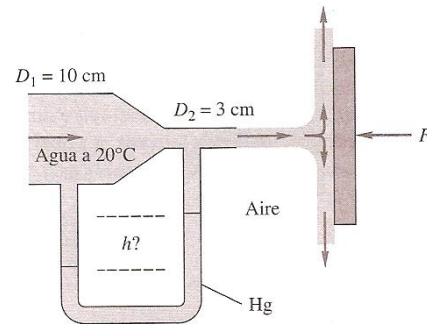


P3.150

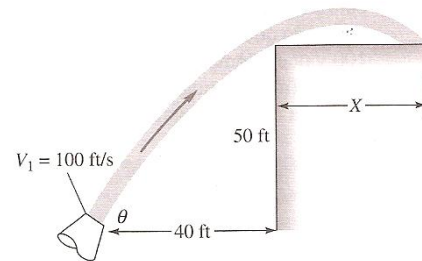
- P3.151** En la Figura P3.151 se presenta el flujo de aire a través de una tobera circular por la que sale en forma de chorro para incidir sobre una placa. La fuerza necesaria para mantener quieta la placa es de 70 N. Suponiendo un flujo estacionario, unidimensional y sin fricción, estime (a) las velocidades en las secciones (1) y (2) y (b) la lectura h del manómetro de mercurio.

- P3.152** El chorro libre de líquido de la Figura P3.152 está a una presión ambiente constante y tiene unas pérdidas muy pequeñas, por lo que la ecuación de Bernoulli $z + V^2/(2g)$ es constante a lo largo del chorro. Para la boquilla de la figura calcule los valores (a) máximo y (b) mínimo de θ para los que el chorro de agua salvará la esquina del edificio. ¿En qué caso la velocidad del

chorro será mayor cuando impacta sobre el tejado del edificio?

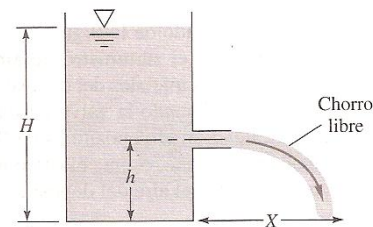


P3.151



P3.152

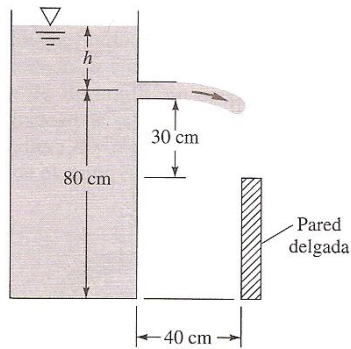
- P3.153** Use la ecuación de Bernoulli para obtener una fórmula de la distancia X a la que el chorro del depósito de la Figura P3.153 llega al suelo, como función de h y H . ¿Para qué cociente h/H es máximo X ? Esquematice las tres trayectorias correspondientes a $h/H = 0,4$, $0,5$ y $0,6$.



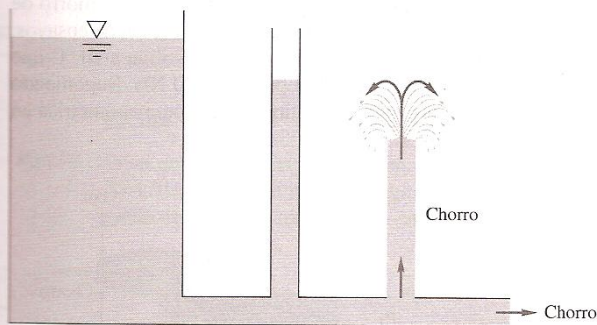
P3.153

- P3.154** La boquilla de salida de la Figura P3.154 es horizontal. Si las pérdidas son despreciables, ¿cuál debe ser el nivel de agua h en centímetros para el que el chorro salve la pared?

- P3.155** El tratado de hidrodinámica de Bernoulli, de 1738, contiene muchos esquemas excelentes de flujos relacionados con su relación sin fricción. Uno de ellos, representado en la Figura P3.155, parece físicamente erróneo. ¿Podría explicar dónde puede estar el error?



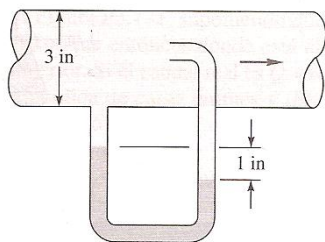
P3.154



P3.155

P3.156 Un ultraligero vuela a 75 mi/h en atmósfera estándar al nivel del mar. Un transductor de presión diferencial conectado entre el morro y un lado del ultraligero mide 950 Pa. Estime (a) la presión absoluta en el morro y (b) la velocidad del aire en las proximidades del lateral del ultraligero.

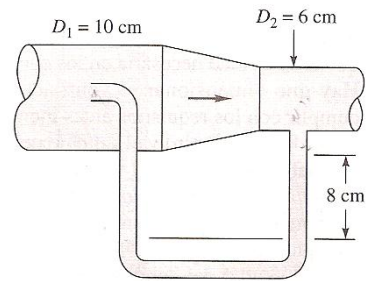
P3.157 El fluido de trabajo del manómetro de la Figura P3.157 es mercurio. Estime el gasto volumétrico en el tubo si el fluido que circula por él es (a) gasolina y (b) nitrógeno, a 20 °C y 1 atm.



P3.157

P3.158 El fluido de la Figura P3.158 es CO_2 a 20 °C. Desprecie las pérdidas. Si $p_1 = 170 \text{ kPa}$ y el fluido del manómetro es aceite rojo Meriam ($S = 0,827$), estime (a) p_2 y (b) el caudal de gas en metros cúbicos por hora.

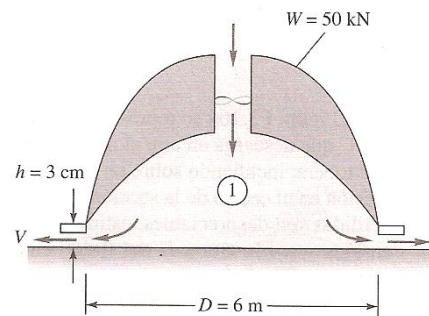
P3.159 Nuestra manguera de 0,625 in de diámetro es demasiado corta y su boquilla de salida de 0,375 in de diámetro se encuentra a 125 ft de distancia del jardín. Si



P3.158

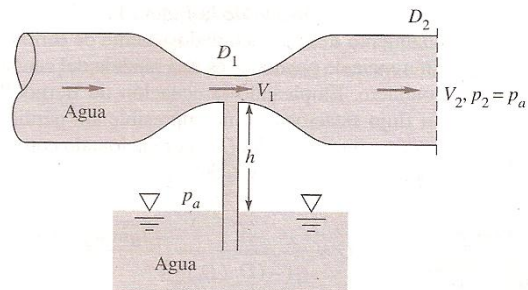
se desprecian las pérdidas, ¿cuál es la mínima presión manométrica necesaria dentro de la manguera para alcanzar el jardín?

P3.160 El hovercraft de la Figura P3.160 toma aire estándar al nivel del mar a través de un ventilador y lo descarga a gran velocidad a través de unos faldones anulares que dejan un hueco de 3 cm con el suelo. Si el peso del vehículo es de 50 kN, estime (a) el caudal de aire requerido y (b) la potencia del ventilador en kilovatios.



P3.160

P3.161 El estrechamiento de un conducto, denominado *venturi*, produce baja presión en la garganta, lo que le permite aspirar fluido de un depósito, como se muestra en la Figura P3.161. Mediante la ecuación de Bernoulli, obtenga una expresión para la mínima velocidad V_1 necesaria para llevar el fluido a la garganta.

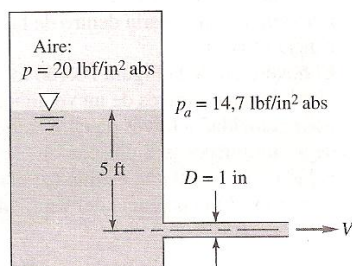


P3.161

P3.162 Supongamos que usted está diseñando una mesa de hockey sobre aire. La mesa tiene unas dimensiones de

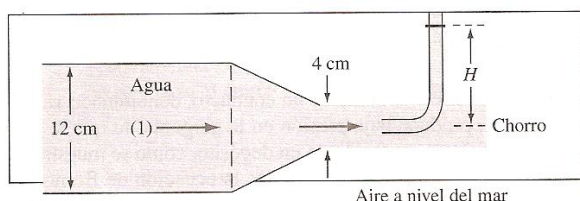
3,0 × 6,0 ft y orificios de 1/16 in de diámetro equiespaciados 1 in, con un número total de 2592. Se estima que la velocidad necesaria en los chorros es de 50 ft/s. Hay que dimensionar el ventilador necesario para cumplir con los requisitos antes mencionados. Estime el caudal (en ft³/min) y el salto de presiones (en lb/in²) que debe proporcionar el ventilador. *Consejo:* suponga que el aire está en reposo en un gran volumen debajo de la mesa y desprecie las pérdidas por rozamiento.

- P3.163** El líquido de la Figura P3.163 es keroseno a 20 °C. Estime el caudal del depósito en el caso de que (a) no haya pérdidas y (b) la pérdidas en el conducto sean $h_f \approx 4,5V^2/(2g)$.



P3.163

- P3.164** En la Figura P3.164 se representa un chorro de agua a 20 °C que descarga en aire al nivel del mar a través de una tobera, incidiendo sobre un tubo de remanso. Si la presión en el centro de la sección 1 es de 110 kPa y las pérdidas son despreciables, estime (a) el flujo másico en kg/s y (b) la altura H del fluido en el tubo de remanso.



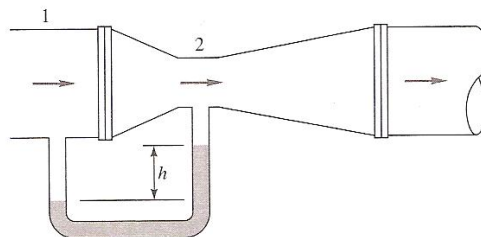
P3.164

- P3.165** El venturi calibrado de la Figura P3.165 es un estrechamiento diseñado cuidadosamente de forma que su diferencia de presiones es una medida del caudal en el conducto. Empleando la ecuación de Bernoulli para un flujo estacionario incompresible sin pérdidas, demuestre que el caudal Q está relacionado con la altura manométrica h a través de

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}} \sqrt{\frac{2gh(\rho_M - \rho)}{\rho}}$$

donde ρ_M es la densidad del fluido del manómetro.

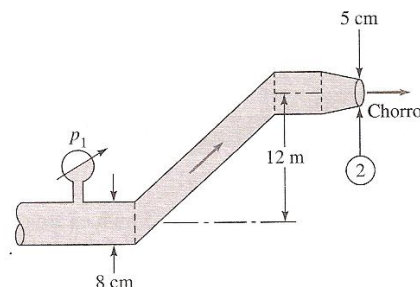
- P3.166** Un túnel de viento de circuito abierto toma aire estándar a nivel del mar y lo acelera a través de una contracción en una sección de ensayos de 1 m por 1 m. Un



P3.165

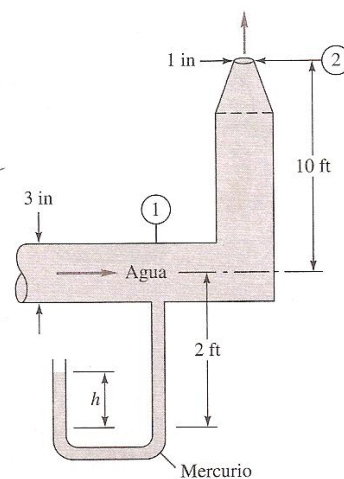
transductor diferencial instalado en la pared de la sección de ensayos mide una diferencia de presiones entre el interior y el exterior de la pared de 45 mm de agua. Estime (a) la velocidad en la sección de ensayos en millas por hora y (b) la presión absoluta en el morro de un pequeño modelo montado en la sección de ensayos. El fluido de la Figura P3.167 es gasolina a 20 °C que fluye con un caudal de peso de 120 N/s. Suponiendo que no hay pérdidas, estime la presión manométrica en la sección 1.

P3.167



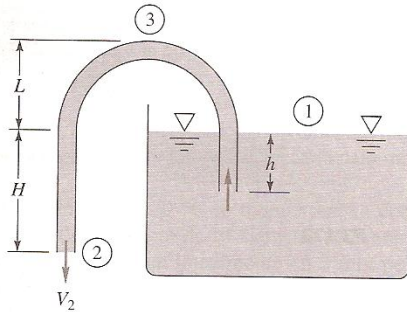
P3.167

- P3.168** Los dos fluidos de la Figura P3.168 están a 20 °C. Si $V_1 = 1,7$ ft/s y se desprecian las pérdidas, ¿cuál debería ser la altura h en ft?



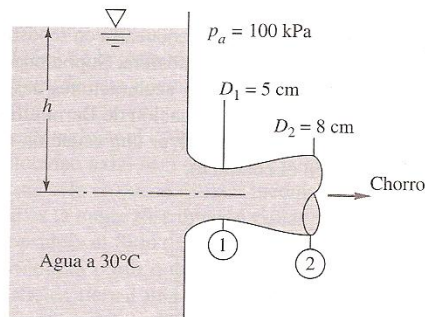
P3.168

P3.169 El sifón de la Figura P3.169 funciona continuamente mientras haya fluido en el depósito, una vez se le ha proporcionado la succión suficiente. Empleando la ecuación de Bernoulli sin pérdidas, demuestre que (a) la velocidad de salida V_2 sólo depende de la gravedad y la altura H y (b) la presión mínima (de vacío) se produce en el punto 3 y depende de la distancia $L + H$.



P3.169

P3.170 Si se desprecian las pérdidas en el flujo de la Figura P3.170, ¿cuál es el nivel del agua h en el que la garganta de la tobera comenzará a cavitarse?

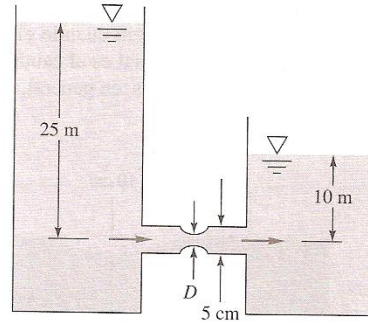


P3.170

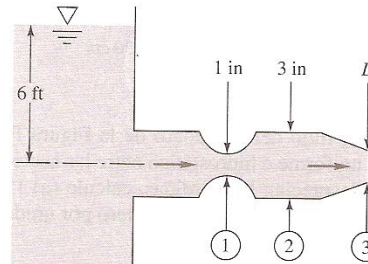
***P3.171** Estime el caudal de agua a 40 °C que existe en el conducto de la Figura P3.171, suponiendo que no existen pérdidas. Explique entonces dónde está el error en la hipótesis anterior. Si el caudal real es $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, calcule (a) la pérdida de carga en pies y (b) el diámetro del estrechamiento D para el que se produce cavitación, suponiendo que a cada lado de la garganta se producen pérdidas de carga iguales y que las pérdidas en el estrechamiento son despreciables.

P3.172 El flujo de agua a 35 °C de la Figura P3.172 descarga en atmósfera estándar a nivel del mar. Si se desprecian las pérdidas, ¿cuál es el diámetro D para el que comenzará a producirse la cavitación? Para evitar esta cavitación, ¿se debería incrementar o disminuir D con respecto a este valor crítico?

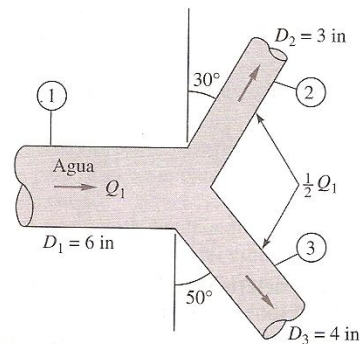
P3.173 La «Y» horizontal de la Figura P3.173 divide el flujo de agua a 20 °C en dos caudales iguales. Si $Q_1 = 5 \text{ ft}^3/\text{s}$, $p_1 = 25 \text{ lbf}/\text{in}^2$ (manométrica) y se desprecian las pérdidas, estime (a) p_2 , (b) p_3 y (c) el vector fuerza necesario para sujetar la Y.



P3.171

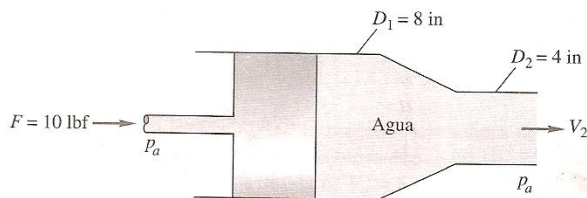


P3.172



P3.173

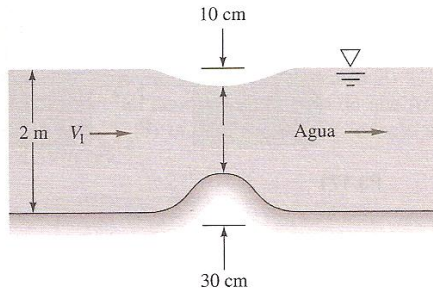
P3.174 El pistón de la Figura P3.174 impulsa agua a 20 °C. Si se desprecian las pérdidas, estime la velocidad en la salida V_2 en pies por segundo. Si D_2 es un estrechamiento posterior, ¿cuál es el máximo valor posible para V_2 ?



P3.174

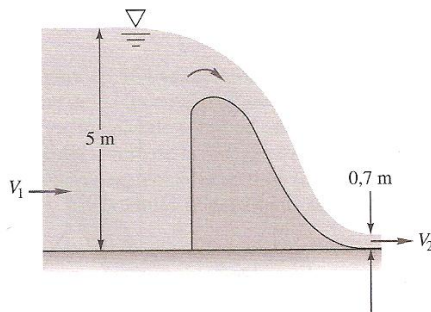
P3.175 Si la velocidad del flujo en un canal no es muy grande, un obstáculo en su fondo produce una disminución Δh

del nivel del agua. En la Figura P3.175 se presenta un caso en el que $\Delta h = 10$ cm cuando el obstáculo tiene una altura de 30 cm. ¿Cuál es el caudal Q_1 por unidad de anchura de canal? ¿Es, en general, Δh proporcional a Q_1 ?



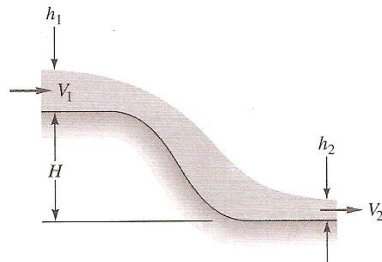
P3.175

P3.176 El flujo del aliviadero de la Figura P3.176 se asume uniforme e hidrostático entre las secciones 1 y 2. Si se desprecian las pérdidas, calcule (a) V_2 y (b) la fuerza del agua sobre el rebosadero por unidad de anchura.



P3.176

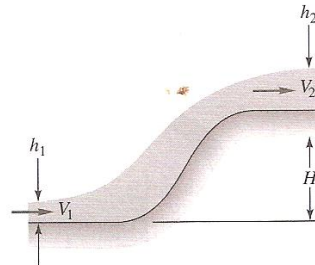
P3.177 Las características del flujo del canal de la Figura P3.177 son: $h_1 = 1,5$ m, $H = 4$ m y $V_1 = 3$ m/s. Despreciando las pérdidas y suponiendo un flujo uniforme entre las secciones 1 y 2, calcule la profundidad h_2 aguas abajo y demuestre que son posibles *dos* soluciones realistas.



P3.177

P3.178 Las características del flujo del canal de la Figura P3.178 son: $h_1 = 0,45$ ft, $H = 2,2$ ft y $V_1 = 16$ ft/s.

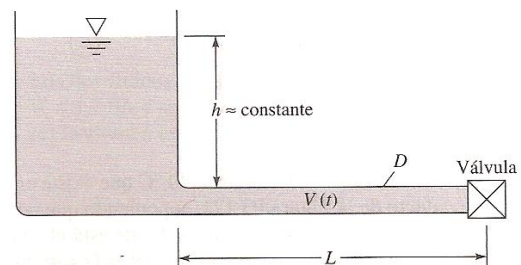
Despreciando las pérdidas y suponiendo un flujo uniforme entre las secciones 1 y 2, calcule la profundidad h_2 aguas abajo y demuestre que son posibles *dos* soluciones realistas.



P3.178

***P3.179** Un depósito cilíndrico de diámetro D contiene líquido hasta una altura inicial h_0 . En el instante $t = 0$ se quita de su fondo un pequeño tapón de diámetro d . Obtenga, empleando la ecuación de Bernoulli sin pérdidas, (a) una ecuación diferencial para la altura de la superficie libre $h(t)$ durante la descarga y (b) una expresión para el tiempo t_0 necesario para vaciar el depósito.

***P3.180** El depósito de la Figura P3.180 contiene un fluido incompresible que se encuentra en reposo cuando su válvula se abre a la atmósfera. Suponiendo que $h \approx$ constante (velocidades y aceleraciones despreciables en el depósito), use la ecuación de Bernoulli sin rozamiento para obtener y resolver una ecuación diferencial para $V(t)$ en el conducto.

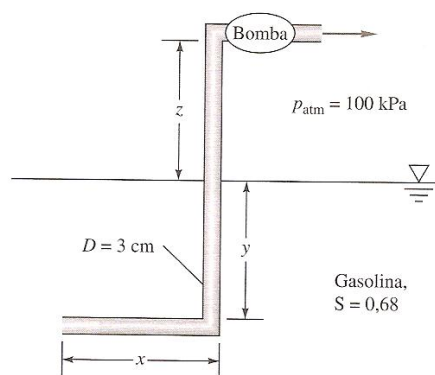


P3.180

***P3.181** Modifique el Problema P3.180 suponiendo que la parte superior del depósito está cerrada y se encuentra a una presión manométrica constante p_0 . Repita el análisis para encontrar $V(t)$ en el conducto.

P3.182 La forma incompresible de la ecuación de Bernoulli (3.77) sólo es precisa cuando el número de Mach es inferior a 0,3. A velocidades superiores se deben tener en cuenta las variaciones de densidad. La hipótesis más común para fluidos compresibles es considerar el *flujo isentrópico de un gas ideal*, o $p = C\rho^\gamma$, donde $\gamma = c_p/c_v$. Sustituya esta relación en la Ecuación (3.75), intégrala y elimine la constante C . Compare los resultados compresibles con la Ecuación (3.77) y coméntelos.

- P3.183** La bomba de la Figura P3.183 extrae gasolina a 20 °C de un depósito. Se pueden producir problemas en la bomba si el líquido llega a vaporizarse (cavita) antes de entrar en ella. (a) Despreciando las pérdidas y suponiendo un caudal de 65 gal/min, encuentre las limitaciones en (x, y, z) para evitar la cavitación. (b) ¿Qué otras limitaciones podrían ser importantes si se incluyen las pérdidas por fricción?
- P3.184** En el sistema del Problema P3.183 la bomba proporciona 65 gal/min a la atmósfera a través de un conducto de 3 cm de diámetro sin cavitación cuando $x = 3$ m, $y = 2,5$ m y $z = 2$ m. Si la pérdida de carga por fricción es $h_{\text{pérd}} \approx 3,7(V^2/2g)$, donde V es la velocidad media en el conducto, estime la potencia necesaria para mover la bomba.
- P3.185** Un flujo de agua a 20 °C se mueve por un conducto cónico vertical a 163 m³/h. El diámetro de la entrada es de 12 cm y se reduce linealmente en 3 mm por cada 2 m de elevación. Si se considera un flujo sin rozamiento y la presión en la entrada es de 400 kPa, ¿a qué altura la presión del fluido será de 100 kPa?



P3.183

Problemas conceptuales

- C3.1** Obtenga una forma de volumen de control para la segunda ley de la termodinámica. Sugiera algunos usos prácticos de esta relación en el análisis de flujos reales.
- C3.2** Se desea estimar el caudal Q en un conducto midiendo la velocidad axial $u(r)$ en ciertos puntos. Por motivos de coste sólo se puede realizar medidas en tres puntos. ¿Cuál es la mejor distribución radial de estos puntos?
- C3.3** Se considera el flujo de agua por gravedad a través de un conducto corto que conecta dos depósitos cuyas superficies tienen una diferencia de altura Δz . ¿Por qué la ecuación de Bernoulli incompresible produce resultados absurdos al calcular el caudal en el conducto? ¿Tiene esta paradoja algo que ver con que el conducto es corto? ¿Desaparece la paradoja si se redondean la entrada y la salida del conducto?
- C3.4** Use la ecuación de la energía para flujo estacionario para analizar el flujo de agua a través de un grifo cuya presión de suministro es p_0 . ¿Qué mecanismo físico hace que el flujo varíe desde cero a un máximo al abrir la válvula del grifo?
- C3.5** Se considera un conducto de desagüe parcialmente lleno de agua, inclinado un ángulo θ . Antoine Chézy determinó en 1768 que la velocidad media del flujo en un canal de este tipo debería ser $V \approx C\sqrt{R} \tan \theta$, donde R es el radio del conducto y C es una constante. ¿Cómo se relaciona esta famosa fórmula con la ecuación de la energía para flujo estacionario aplicada a una longitud L de este canal?
- C3.6** Coloque una pelota de tenis de mesa en un embudo y conecte la parte estrecha del embudo a un ventilador. Probablemente no sea capaz de soplar la pelota fuera del embudo. Explique cuál es la razón.
- C3.7** ¿Cómo trabaja un sifón? ¿Hay limitaciones, tales como lo alto o bajo que se puede extraer agua de un depósito mediante un sifón? ¿Hasta cuándo es posible emplear un tubo flexible para llevar agua de un depósito hasta un punto situado a 100 ft de distancia?

Problemas del examen de fundamentos de ingeniería

- FE3.1** En la Figura FE3.1 se presenta una tobera por la que sale agua a una presión atmosférica de 101 kPa. Si el caudal es de 160 gal/min, ¿cuál es la velocidad media en la sección 1?
- (a) 2,6 m/s, (b) 0,81 m/s, (c) 93 m/s, (d) 23 m/s, (e) 1,62 m/s
- FE3.2** En la Figura FE3.1 se presenta una tobera por la que sale agua a una presión atmosférica de 101 kPa. Si el caudal es de 160 gal/min y se desprecia la fricción, ¿cuál es la presión manométrica en la sección 1?
- (a) 1,4 kPa, (b) 32 kPa, (c) 43 kPa, (d) 29 kPa, (e) 123 kPa
- FE3.3** En la Figura FE3.1 se presenta una tobera por la que sale agua a una presión atmosférica de 101 kPa. Si la velocidad en la salida es $V_2 = 8$ m/s y se desprecia la fricción, ¿cuál es la fuerza axial que se necesita para mantener la tobera unida al conducto 1?
- (a) 11 N, (b) 56 N, (c) 83 N, (d) 123 N, (e) 110 N
- FE3.4** En la Figura FE3.1 se presenta una tobera por la que sale agua a una presión atmosférica de 101 kPa. Si el

RESULTADOS

- P2.74 $H = R[\pi/4 + \{(\pi/4)^2 + 2/3\}^{1/2}]$
 P2.76 (a) 239 kN; (c) 388 kN · m
 P2.78 $P = \pi\rho gR^3/4$
 P2.80 (a) 58.800 Pa; (b) 0,44 m
 P2.82 $F_H = 97,9 \text{ MN}$, $F_V = 153,8 \text{ MN}$
 P2.84 $F_H = 4895 \text{ N}$, $F_V = 7343 \text{ N}$
 P2.86 $P = 59 \text{ kN}$
 P2.88 $F_H = 176 \text{ kN}$, $F_V = 31,9 \text{ kN}$, sí
 P2.90 467 lbf
 P2.92 $F_{\text{un remache}} \approx 11.300 \text{ N}$
 P2.94 $C_x = 2996 \text{ lb}$, $C_z = 313 \text{ lbf}$
 P2.96 $F_H = 336 \text{ kN}$; $F_V = 162 \text{ kN}$
 P2.98 $F_H = 7987 \text{ lbf}$; $F_V = 2280 \text{ lbf}$
 P2.100 $F_H = 0$, $F_V = 297 \text{ kN}$
 P2.102 (a) 238 kN; (b) 125 kN
 P2.104 5,0 N
 P2.106 $z \approx 4000 \text{ m}$
 P2.108 12,6 N
 P2.110 $h \approx$ (a) 7,05 mm; (b) 7,00 mm
 P2.112 (a) 39 N; (b) 0,64
 P2.114 0,636
 P2.116 19.100 N/m^3
 P2.118 (a) draft = 7,24 in; (b) 25 lbf
 P2.120 $34,3^\circ$
 P2.122 $a/b \approx 0,834$
 P2.124 6850 m
 P2.126 3130 Pa (vacío)
 P2.128 Sí, estable si $S > 0,789$
 P2.130 Ligeramente inestable, $MG = -0,007 \text{ m}$
 P2.132 Estable si $R/h > 3,31$
 P2.134 (a) inestable; (b) estable
 P2.136 $MG = L^2/(3\pi R) - 4R/(3\pi) > 0$ si $L > 2R$
 P2.138 2,77 in de profundidad; volumen = 10,8 onzas fluidas
 P2.140 $a_x =$ (a) $-19,96 \text{ m/s}^2$ (deceleración); (b) $-5,69 \text{ m/s}^2$ (deceleración)
 P2.142 (a) 16,3 cm; (b) 15,7 N
 P2.144 (a) $a_x \approx 319 \text{ m/s}^2$; (b) sin efecto, $p_A = p_B$
 P2.146 Se inclina hacia la derecha con $\theta = 27^\circ$
 P2.148 Se inclina hacia la izquierda con $\theta = 27^\circ$
 P2.150 5,5 cm; vale la escala lineal
 P2.152 (a) 224 rpm; (b) 275 rpm
 P2.154 (a) Los dos son paraboloides; (b) $p_B = 2550 \text{ Pa}$ (manométrica)
 P2.156 420 rpm
 P2.157 77 rpm, presión mínima en el punto medio entre B y C
 P2.158 10,57 rpm
- P3.28 $t_{\text{vaciado}} = (A_d/A_0)(h_0/2g)^{1/2}$
 P3.30 $\theta = 48^\circ$
 P3.32 $V_{\text{agujero}} = 6,1 \text{ m/s}$
 P3.34 $V_2 = 4660 \text{ ft/s}$
 P3.36 $U_3 = 6,33 \text{ m/s}$
 P3.38 $V = V_0 r/(2h)$
 P3.40 500 N hacia la izquierda
 P3.42 $F = (p_1 - p_2)A_1 - \rho_1 A_1 V_1^2 [(D_1/D_2)^2 - 1]$
 P3.44 $F = \rho U^2 L b/3$
 P3.46 $\alpha = (1 + \cos \theta)/2$
 P3.48 $V_0 \approx 2,27 \text{ m/s}$
 P3.50 102 kN
 P3.52 $F = \rho W h V_1^2 [1/(1 - \sin \theta) - 1]$ hacia la izquierda
 P3.54 163 N
 P3.56 (a) 18,5 N hacia la izquierda; (b) 7,1 N hacia arriba
 P3.58 40 N
 P3.60 2100 N
 P3.62 3100 N
 P3.64 980 N
 P3.66 8800 N
 P3.70 91 lbf
 P3.72 Resistencia $\approx 4260 \text{ N}$
 P3.74 $F_x = 0$, $F_y = -17 \text{ N}$, $F_z = 126 \text{ N}$
 P3.76 (a) 1670 N/m; (b) 3,0 cm; (c) 9,4 cm
 P3.80 $F = (\rho/2)gb(h_1^2 - h_2^2) - \rho h_1 b V_1^2 (h_1/h_2 - 1)$
 P3.82 25 m/s
 P3.84 23 N
 P3.86 274 kPa
 P3.88 $V = \zeta + [\zeta^2 + 2\zeta V_j]^{1/2}$, $\zeta = \rho Q/2k$
 P3.90 $dV/dt = g$
 P3.92 $dV/dt = gh/(L + h)$
 P3.94 $h = 0$ en $t \approx 70 \text{ s}$
 P3.96 $d^2Z/dt^2 + 2gZ/L = 0$
 P3.100 (a) 507 m/s y 1393 m; (b) 14,5 km
 P3.102 $h_2/h_1 = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} [1 + 8V_1^2/(gh_1)]^{1/2}$
 P3.104 $\Omega = (-V/R) \ln(1 - \dot{m}/M_0)$
 P3.106 $\Omega_{\text{final}} = 75 \text{ rad/s}$
 P3.108 (a) $V = V_0/(1 + CV_0 t/M)$, $C = \rho b h(1 - \cos \theta)$
 P3.110 (a) 0,113 ft · lbf; (b) 250 rpm
 P3.112 $T = \dot{m} R_0^2 \Omega$
 P3.114 (a) 414 rpm; (b) 317 rpm
 P3.116 $P = \rho Q r_2 \omega [r_2 \omega - Q \cotg \theta_2 / (2\pi r_2 b_2)]$
 P3.118 $P = \rho Q^2 \omega \cotg \theta_2 / (2\pi r_2 b_2)$
 P3.120 (a) 22 ft/s; (b) 110 ft/s; (c) 710 hp
 P3.122 $L = -h_1 (\cotg \theta)/2$
 P3.124 41 rpm
 P3.126 $-15,5 \text{ kW}$ (trabajo realizado sobre el fluido)
 P3.128 $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$
 P3.130 34 kW
 P3.134 5060 hp
 P3.136 $z_1 = 115 \text{ m}$
 P3.138 $\mu = \pi \rho g d^4 (H + L) / (128 L Q) - \alpha_2 \rho Q / (16 \pi L)$
 P3.140 1640 hp
 P3.142 (a) 1150 gal/min; (b) 67 hp
 P3.144 26 kW
 P3.146 $h = 3,6 \text{ ft}$
 P3.148 $h_r = 0,21 \text{ m}$
 P3.150 Sustentación = 119 kN
 P3.152 (a) $85,9^\circ$; (b) $55,4^\circ$
 P3.154 $h = 0,133 \text{ m}$
 P3.156 (a) 102 kPa; (b) 88 mi/h

Capítulo 3

- P3.2 \mathbf{r} = vector de posición desde el punto O
 P3.6 $Q = (2b/3)(2g)^{1/2} [(h + L)^{3/2} - (h - L)^{3/2}]$
 P3.8 (a) 5,45 m/s; (b) 5,89 m/s; (c) 5,24 m/s
 P3.10 (a) 3 m/s; (b) 6 m/s; (c) 5 cm/s hacia fuera
 P3.12 $\Delta t = 46 \text{ s}$
 P3.14 $dh/dt = (Q_1 + Q_2 - Q_3)/(\pi d^2/4)$
 P3.16 $Q_{\text{cara superior}} = 3U_0 b \delta/8$
 P3.18 (b) $Q = 16bh u_{\text{máx}}/9$
 P3.20 (a) 7,8 mL/s; (b) 1,24 cm/s
 P3.22 (a) 0,06 kg/s; (b) 1060 m/s; (c) 3,4
 P3.24 $h = [3Kt^2 d^2 / (8 \text{tg}^2 \theta)]^{1/3}$
 P3.26 $Q = 2U_0 b h/3$

- P3.158 (a) 169,4 kPa; (b) 209 m³/h
 P3.160 (a) 31 m³/s; (b) 54 kW
 P3.162 $Q = 166 \text{ ft}^3/\text{min}$, $\Delta p = 0,0204 \text{ lbf/in}^2$
 P3.164 (a) 5,25 kg/s; (b) 0,91 m
 P3.166 (a) 60 mi/h; (b) 1 atm
 P3.168 $h = 1,08 \text{ ft}$
 P3.170 $h = 1,76 \text{ m}$
 P3.172 $D = 0,132 \text{ ft}$
 P3.174 (a) 5,61 ft/s; (b) si se reduce más, V_2 disminuye
 P3.176 (a) 9,3 m/s; (b) 68 kN/m
 P3.178 $h_2 = 2,03 \text{ ft}$ (subcrítico) o $0,74 \text{ ft}$ (supercrítico)
 P3.180 $V = V_f \tanh(V_f t/2L)$, $V_f = (2gh)^{1/2}$
 P3.182 $\gamma p/[(\gamma - 1)\rho] + V^2/2 + gz = \text{constante}$
 P3.184 0,37 hp

Capítulo 4

- P4.2 (a) $du/dt = (2V_0^2/L)(1 + 2x/L)$
 P4.4 En (2, 1), $dT/dt = 125$ unidades
 P4.6 (a) $6V_0^2/L$; (b) $L \ln 3/(2V_0)$
 P4.8 (a) 0,0196 V²/L; (b) en $t = 1,05 L/U$
 P4.10 (a) $v = -xy^2$; (b) $u = -x^3/3$
 P4.12 Si $v_\theta = v_\phi$, $v_r = r^2 f(\theta, \phi)$
 P4.14 $v_\theta = f(r)$ sólo
 P4.16 (a) $w = 2xyz - xyz^2$; (b) $v = -2xy$
 P4.18 $\rho = \rho_0 L_0/(L_0 - Vt)$
 P4.20 $v = v_0 = \text{cte}$, $\{K\} = \{L/T\}$, $\{a\} = \{L^{-1}\}$
 P4.22 $v_r = U_0 \cos \theta + V_0 \sin \theta$; $v_\theta = -U_0 \sin \theta + V_0 \cos \theta$
 P4.28 Solución exacta para todo a o b
 P4.30 $p = \text{cte} - (\rho K^2/2)(x^2 + y^2)$
 P4.32 $f_1 = C_1 r$; $f_2 = C_2/r$
 P4.36 $C = \rho g \sin \theta/(2\mu)$
 P4.38 $C_z = \tau_{yx} - \tau_{xy}$
 P4.48 $\psi = U_0 r \sin \theta - V_0 r \cos \theta + \text{constante}$
 P4.50 Flujo no viscoso alrededor de una esquina de 180°
 P4.52 $\psi = -4Q\theta/(\pi b)$
 P4.54 $Q = ULb$
 P4.60 Irrotacional, $z_0 = H - \omega^2 R^2/(2g)$
 P4.62 $\psi = Vy^2/(2h) + \text{cte}$
 P4.66 $\psi = -K \sin \theta/r$
 P4.68 $\psi = m \tan^{-1}[2xy/(x^2 - y^2 + a_2)]$
 P4.70 $\phi = \lambda \cos \theta/r^2$, $\lambda = 2am$
 P4.72 (a) 8,8 m; (b) 55 m
 P4.74 B está 2,03 m a la derecha del punto O
 P4.76 (a) 0,106 m de A ; (b) 0,333 m por encima de la pared
 P4.78 (a) $V_{\text{pared, máx}} = m/L$; (b) $p_{\text{mín}}$ en $x = L$
 P4.80 (a) $w = (\rho g/2\mu)(2\delta x - x^2)$
 P4.82 Resultado para obsesos: $v_\theta = \Omega R^2/r$
 P4.84 $v_z = (\rho g b^2/2\mu) \ln(r/a) - (\rho g/4\mu)(r^2 - a^2)$
 P4.86 $\dot{Q} = 0,0031 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$
 P4.88 $v_z = U \ln(r/b)/[\ln(a/b)]$
 P4.90 (a) $D = 10 \text{ cm}$; (b) $Q = 34 \text{ m}^3/\text{h}$
 P4.92 $h = h_0 \exp[-\pi D^2 \rho g t/(128 \mu L A_0)]$

Capítulo 5

- P5.2 1,21 m
 P5.4 $V = 1,55 \text{ m/s}$, $F = 1,3 \text{ N}$
 P5.6 $F \approx 450 \text{ N}$
 P5.8 $\text{Mo} = g\mu^4/(\rho Y^3)$
 P5.10 (a) $\{ML^{-2}T^{-2}\}$; (b) $\{MLT^{-2}\}$
 P5.12 $\text{St} = \mu U/(\rho g D^2)$

- P5.14 $\delta/x = f(\rho U x/\mu)$
 P5.16 Número de Stanton $= h/(\rho V c_p)$
 P5.18 $Q\mu/[(\Delta p/L)b^4] = \text{cte}$
 P5.20 (a) $\{C\} = \{ML^{-1}T^{-n-2}\}$
 P5.22 $\Omega D/V = f(N, H/L)$
 P5.24 $F/(\rho V^2 L^2) = f(\alpha, \rho VL/\mu, L/D, V/a)$
 P5.26 (a) Indeterminado; (b) $T = 2,75 \text{ s}$
 P5.28 $\delta/L = f[L/D, \rho VD/\mu, E/(\rho V^2)]$
 P5.30 $\tau_w/(\rho \Omega^2 R^2) = f(\rho \Omega R^2/\mu, \Delta r/R)$
 P5.32 $Q/(bg^{1/2}H^{3/2}) = \text{cte}$
 P5.34 $k_{\text{hidrógeno}} \approx 0,182 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
 P5.36 (a) $\dot{Q}_{\text{pérdidas}} R/(\Delta AT) = \text{constante}$
 P5.38 $d/D = f(\rho UD/\mu, \rho U^2 D/Y)$
 P5.40 $h/L = f(\rho g L^2/Y, \alpha, \theta)$
 P5.44 (a) $\{\sigma\} = \{L^2\}$
 P5.48 $F \approx 0,17 \text{ N}$ (duplicando U se cuadruplica F)
 P5.50 (a) $F/(\mu UL) = \text{constante}$
 P5.52 $U \approx 5 \text{ ft/s}$, $F \approx 0,003 \text{ lbf/ft}$
 P5.54 Potencia $\approx 7 \text{ hp}$
 P5.56 $F_{\text{aire}} \approx 25 \text{ N/m}$
 P5.58 $V \approx 2,8 \text{ m/s}$
 P5.60 Potencia del prototipo $\approx 157 \text{ hp}$
 P5.62 $\Omega_{\text{máx}} \approx 26,5 \text{ rev/s}$; $\Delta p \approx 22.300 \text{ Pa}$
 P5.64 $\omega_{\text{aluminio}} = 0,77 \text{ Hz}$
 P5.66 (a) $V = 27 \text{ m/s}$; (b) $z = 27 \text{ m}$
 P5.68 (a) $F/(\mu U) = \text{constante}$; (b) no, no es verosímil
 P5.70 $F = 87 \text{ lbf}$
 P5.72 $V = 25 \text{ ft/s}$
 P5.74 Momento del prototipo $= 88 \text{ kN} \cdot \text{m}$
 P5.76 Resistencia $= 107.000 \text{ lbf}$
 P5.78 Número de Weber ≈ 100 si $L_m/L_p = 0,0090$
 P5.80 (a) 1,86 m/s; (b) 42.900; (c) 254.000
 P5.82 Velocidades: 19,6, 30,2 y 40,8 ft/s;
 Resistencias: 14.600, 31.800 y 54.600 lbf
 P5.84 $V_m = 39 \text{ cm/s}$; $T_m = 3,1 \text{ s}$; $H_m = 0,20 \text{ m}$
 P5.88 Para 340 W, $D = 0,109 \text{ m}$
 P5.90 $\Delta p D/(\rho V^2 L) = 0,155(\rho VD/\mu)^{-1/4}$

Capítulo 6

- P6.4 (a) 106 m³/h; (b) 3,6 m³/h
 P6.8 (a) -3600 Pa/m; (b) -13.400 Pa/m
 P6.10 (a) Desde A hasta B ; (b) $h_f = 7,8 \text{ m}$
 P6.12 $\mu = 0,29 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
 P6.14 $Q = 0,0067 \text{ m}^3/\text{h}$ si $H = 50 \text{ cm}$
 P6.16 $d_{\text{mín}} = 1,67 \text{ m}$
 P6.18 $\mu = 0,0026 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ (flujo laminar)
 P6.20 $Q = 0,31 \text{ m}^3/\text{h}$
 P6.22 $F = 4,32 \text{ N}$
 P6.24 (a) 0,019 m³/h, laminar; (b) $d = 2,67 \text{ mm}$
 P6.26 $\mu = 0,000823 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
 P6.28 $\Delta p = 65 \text{ Pa}$
 P6.30 (a) 19,3 m³/h; (b) el flujo es hacia arriba
 P6.32 (a) el flujo es hacia arriba; (b) 1,86 m³/h
 P6.36 (a) 0,029 lbf/ft²; (b) 70 ft/s
 P6.38 5,72 m/s
 P6.44 $h_f = 10,5 \text{ m}$, $\Delta p = 1,4 \text{ MPa}$
 P6.46 Potencia de entrada $\approx 11,2 \text{ MW}$
 P6.48 $r/R = 1 - e^{-3/2}$
 P6.50 (a) -4000 Pa/m; (b) 50 Pa; (c) 46 por 100
 P6.52 $p_1 = 2,38 \text{ MPa}$