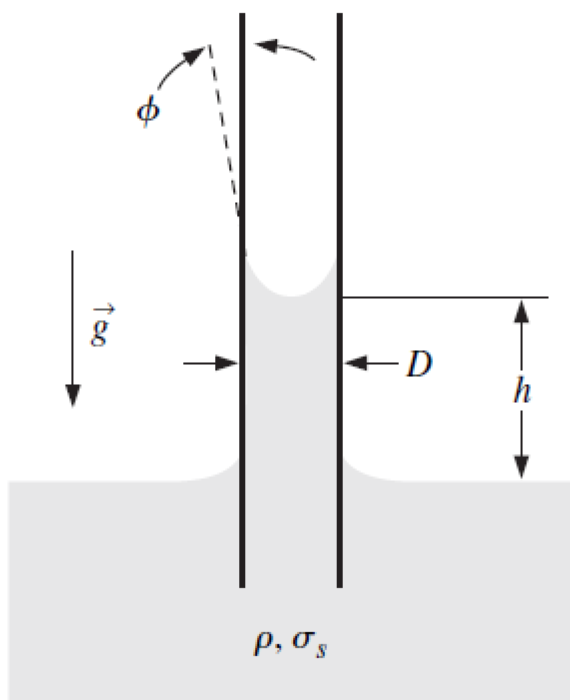
Modelo Segundo Parcial

Ejercicio 1

Cuando un tubo capilar de diámetro pequeño D se inserta en un contenedor de líquido, el líquido sube hasta una altura h en el interior del tubo (Fig. P7-106); h es una función de la densidad del líquido ρ, el diámetro del tubo D, la constante gravitacional g, el ángulo de contacto ϕ y la tensión superficial σ_s del líquido. *a*) Genere una relación adimensional para h como función de los parámetros dados. *b*) Compare su resultado con la ecuación analítica exacta para h que se dio en el capítulo 2. ¿Los resultados de su análisis dimensional son consistentes con la ecuación exacta? Explíquelo.



Solution We are to find a functional relationship for the time scale required for the liquid to climb up the capillary

Assumptions **1** t_{rise} is a function of the same parameters listed in the previous problem, but there is another relevant parameter.

Analysis Since this is an unsteady problem, the rise time will surely depend also on fluid viscosity μ. The list of parameters now involves seven parameters,

List of relevant parameters: $$t_{\text{rise}} = f\left(\rho, g, \sigma_s, D, \phi, \mu\right) \qquad n = 7 \qquad (1)$$

and we expect four Πs. We choose the same repeating parameters and the algebra is similar to that of the previous problem. It turns out that

Π_1: $$\Pi_1 = t_{\text{rise}}\sqrt{\frac{g}{D}}$$

The second and third Π are the same as those of the previous problem. Finally, the fourth Π is formed by combining μ with the repeating parameters. We expect some kind of Reynolds number. We can do the algebra in our head. Specifically, a velocity scale can be formed as $\sqrt{gD}$. Thus,

Π_4: $$\Pi_4 = \text{Re} = \frac{\rho D\sqrt{gD}}{\mu}$$

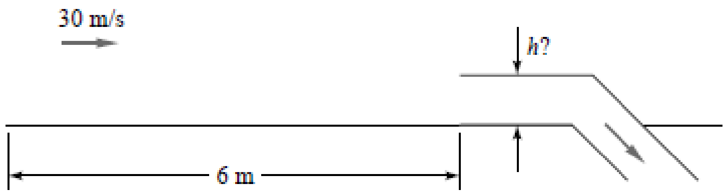
The final functional relationship is

Relationship between Πs: $$\boxed{t_{\text{rise}}\sqrt{\frac{g}{D}} = f\left(\frac{\sigma_s}{\rho g D^2}, \phi, \text{Re}\right)} \qquad (2)$$

Discussion If we would have defined a time scale as $\sqrt{D/g}$, we could have written Π_1 by inspection as well, saving ourselves some algebra.

Ejercicio 2

P7.37 Una placa plana está inmersa en una corriente de aire a 20 °C y 1 atm. Al final de la misma hay una rendija estrecha, como se muestra en la Figura P7.37. (*a*) Determine la altura h de la rendija si el gasto másico por unidad de envergadura (perpendicular al papel) de la misma debe ser de 4 kg/s. (*b*) Determine la resistencia por unidad de envergadura de la placa hasta la entrada a la rendija.



P7.37

Solution: For air, take $\rho = 1.2$ kg/m^3 and $\mu = 1.8E{-}5$ kg/m·s. We assume that the scoop does not alter the boundary layer at its entrance. (a) Compute the displacement thickness at $x = 6$ m:

$$\mathrm{Re}_x = \frac{Ux}{\nu} = \frac{(30\text{ m/s})(6\text{ m})}{0.000015\text{ m}^2/\text{s}} = 1.2E7, \quad \frac{\delta^*}{x} \approx \frac{1}{8}\left(\frac{0.16}{\mathrm{Re}_x^{1/7}}\right) = \frac{0.020}{(1.2E7)^{1/7}} = 0.00195$$

$$\delta^*\big|_{x=6\text{ m}} = (6\text{ m})(0.00195) = 0.0117\text{ m}$$

If δ^* were zero, the flow into the scoop would be uniform: 4 kg/s/m = $\rho U h = (1.2)(30)h$, which would make the scoop $h_o = 0.111$ m high. However, we lose the near-wall mass flow $\rho U \delta^*$, so the proper scoop height is equal to

$$h = h_o + \delta^* = 0.111\text{ m} + 0.0117\text{ m} \approx \mathbf{0.123\text{ m}} \quad \textit{Ans.}\text{ (a)}$$

(b) Assume $\mathrm{Re}_{tr} = 5E5$ and use Eq. (7.49a) to estimate the drag:

$$\mathrm{Re}_x = 1.2E7, \quad C_d = \frac{0.031}{\mathrm{Re}_x^{1/7}} - \frac{1440}{\mathrm{Re}_x} = 0.00302 - 0.00012 = 0.00290$$

$$F_{drag} = C_d \frac{\rho}{2} V^2 bL = 0.0029\left(\frac{1.2\text{ kg/m}^3}{2}\right)(30\text{ m/s})^2(1\text{ m})(6\text{ m}) = \mathbf{9.4\text{ N}} \quad \textit{Ans.}\text{ (b)}$$

Ejercicio 3

8-112 Las necesidades de aire comprimido de una instalación de manufactura se satisfacen con un compresor de 150 hp que extrae aire del exterior a través de un ducto de 8 m de largo y 20 cm de diámetro hecho con delgadas hojas de hierro galvanizado. El compresor toma aire a una razón de 0.27 m^3/s en las condiciones externas de 15°C y 95 kPa. Sin considerar alguna pérdida menor, determine la potencia útil usada por el compresor para superar las pérdidas por fricción en este ducto. *Respuesta:* 9.66 W

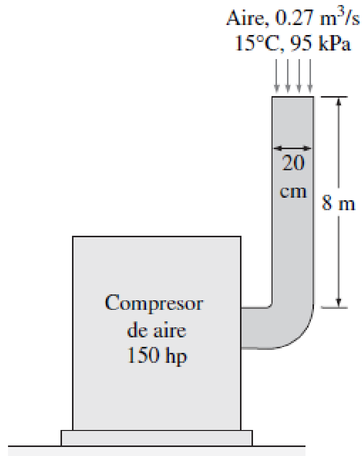


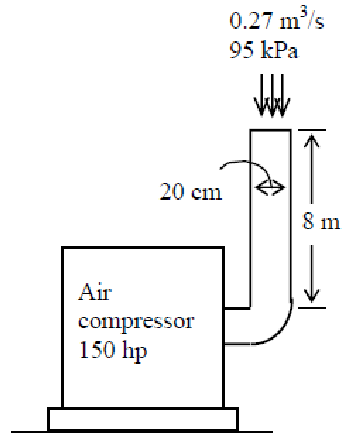
FIGURA P8-112

Solution A compressor takes in air at a specified rate at the outdoor conditions. The useful power used by the compressor to overcome the frictional losses in the duct is to be determined.

Assumptions **1** The flow is steady and incompressible. **2** The entrance effects are negligible, and thus the flow is fully developed. **3** Air is an ideal gas. **4** The duct involves no components such as bends, valves, and connectors, and thus minor losses are negligible. **5** The flow section involves no work devices such as fans or turbines.

Properties The properties of air at 1 atm = 101.3 kPa and 15°C are $\rho_0 = 1.225$ kg/m^3 and $\mu = 1.802\times10^{-5}$ kg/m·s. The roughness of galvanized iron surfaces is $\varepsilon = 0.00015$ m. The dynamic viscosity is independent of pressure, but density of an ideal gas is proportional to pressure. The density of air at 95 kPa is

$\rho = (P/P_0)\rho_0 = (95/101.3)(1.225\text{ kg/m}^3) = 1.149\text{ kg/m}^3$.



Analysis The average velocity and the Reynolds number are

$$V = \frac{\dot V}{A_c} = \frac{\dot V}{\pi D^2/4} = \frac{0.27\text{ m}^3/\text{s}}{\pi(0.20\text{ m})^2/4} = 8.594\text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{(1.149\text{ kg/m}^3)(8.594\text{ m/s})(0.20\text{ m})}{1.802\times10^{-5}\text{ kg/m}\cdot\text{s}} = 1.096\times10^5$$

which is greater than 4000. Therefore, the flow is turbulent. The relative roughness of the pipe is

$$\varepsilon/D = \frac{1.5\times10^{-4}\text{ m}}{0.20\text{ m}} = 7.5\times10^{-4}$$

The friction factor can be determined from the Moody chart, but to avoid the reading error, we determine it from the Colebrook equation using an equation solver (or an iterative scheme),

$$\frac{1}{\sqrt f} = -2.0\log\left(\frac{\varepsilon/D_h}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt f}\right) \rightarrow \frac{1}{\sqrt f} = -2.0\log\left(\frac{7.5\times10^{-4}}{3.7} + \frac{2.51}{1.096\times10^5\sqrt f}\right)$$

It gives $f = 0.02109$. Then the pressure drop in the duct and the required pumping power become

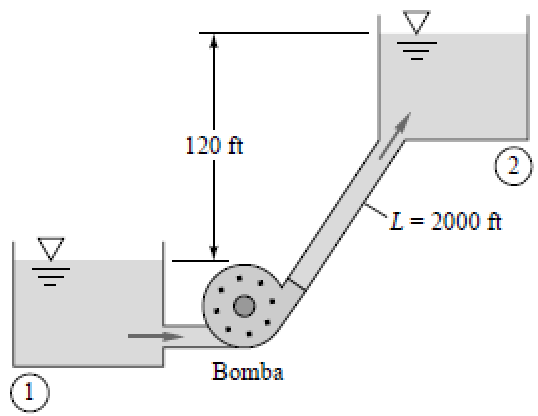
$$\Delta P = \Delta P_L = f\frac{L}{D}\frac{\rho V^2}{2} = 0.02109\frac{8\text{ m}}{0.20\text{ m}}\frac{(1.149\text{ kg/m}^3)(8.594\text{ m/s})^2}{2}\left(\frac{1\text{ N}}{1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2}\right)\left(\frac{1\text{ Pa}}{1\text{ N/m}^2}\right) = 35.8\text{ Pa}$$

$$\dot W_{\text{pump,u}} = \dot V\Delta P = (0.27\text{ m}^3/\text{s})(35.8\text{ Pa})\left(\frac{1\text{ W}}{1\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}}\right) = \mathbf{9.66\text{ W}}$$

Discussion Note hat the pressure drop in the duct and the power needed to overcome it is very small (relative to 150 hp), and can be disregarded. The friction factor could also be determined easily from the explicit Haaland relation. It would give $f = 0.02086$, which is very close to the Colebrook value. Also, the power input determined is the mechanical power that needs to be imparted to the fluid. The shaft power will be more than this due to fan inefficiency; the electrical power input will be even more due to motor inefficiency (but probably no more than 20 W).

Ejercicio 4

Se bombea agua a 20 °C a través de un conducto de 2000 ft de longitud desde el depósito 1 al depósito 2 con un caudal de 3 ft³/s, como se muestra en la Figura P6.62. Si la tubería es de hierro fundido y tiene 6 in de diámetro, y el rendimiento de la bomba es del 75 por 100, ¿cuál es la potencia necesaria?



P6.62

6.62 Water at 20°C is to be pumped through 2000 ft of pipe from reservoir 1 to 2 at a rate of 3 ft^3/s, as shown in Fig. P6.62. If the pipe is cast iron of diameter 6 in and the pump is 75 percent efficient, what horsepower pump is needed?

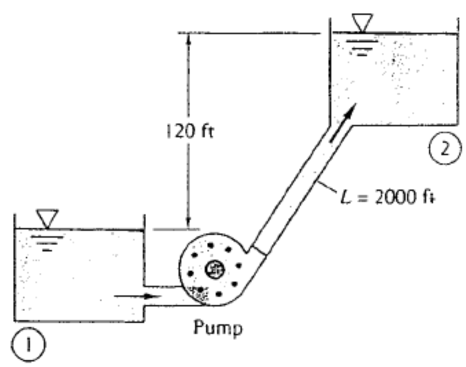


Fig. P6.62

Solution: For water at 20°C, take $\rho = 1.94\ \text{slug/ft}^3$ and $\mu = 2.09\text{E}{-5}$ slug/ft·s. For cast iron, take $\varepsilon \approx 0.00085$ ft, or $\varepsilon/d = 0.00085/(6/12) \approx 0.0017$. Compute V, Re, and *f*:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3}{(\pi/4)(6/12)^2} = 15.3\ \frac{\text{ft}}{\text{s}};$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.94(15.3)(6/12)}{2.09\text{E}{-5}} \approx 709000 \quad \varepsilon/d = 0.0017, \quad f_{\text{Moody}} \approx 0.0227$$

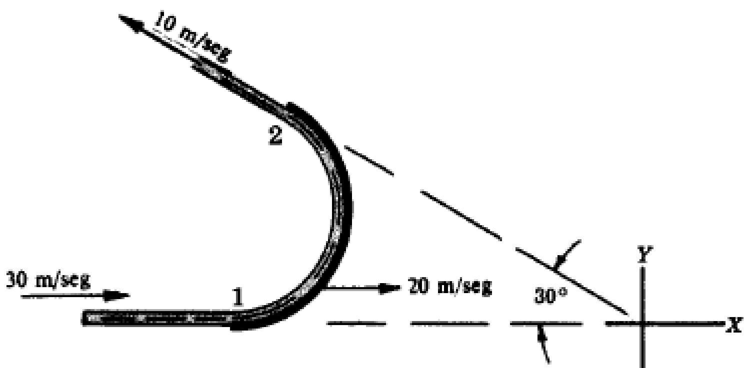
The energy equation, with $p_1 = p_2$ and $V_1 \approx V_2 \approx 0$, yields an expression for pump head:

$$h_{\text{pump}} = \Delta z + f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2g} = 120\ \text{ft} + 0.0227\left(\frac{2000}{6/12}\right)\frac{(15.3)^2}{2(32.2)} = 120 + 330 \approx 450\ \text{ft}$$

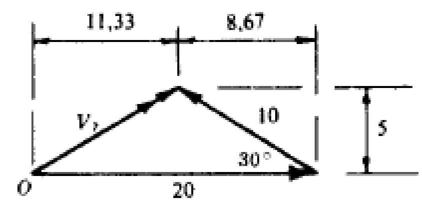
$$\text{Power:} \quad P = \frac{\rho g Q h_p}{\eta} = \frac{1.94(32.2)(3.0)(450)}{0.75} = 112200 \div 550 \approx \mathbf{204\ hp} \quad \textit{Ans.}$$

Ejercicio 5

Un chorro de 10 cm de diámetro y a una velocidad de 30 m/seg, incide sobre un álabe móvil, que lleva una velocidad de 20 m/seg en la misma dirección del chorro. La dirección de salida del álabe forma un ángulo de 150° con la de entrada. Suponiendo que no existe rozamiento, calcular las componentes en las direcciones X e Y de la fuerza que ejerce el agua sobre el álabe. [Véase Fig. 11-3(a).]



(a)



(b)

Solución:

Fig. 11-3

La velocidad relativa $V_{x_1} = 30 - 20 = 10$ m/seg hacia la derecha.

La velocidad del agua en $2 = V_{agua/álabe} \leftrightarrow V_{álabe}'$ [véase Fig. 11-3(b)] de la cual $V_{2_x} = 11{,}33$ m/seg hacia la derecha y $V_{2_y} = 5{,}00$ m/seg hacia arriba.

Se aplica ahora el principio del impulso-cantidad de movimiento en la dirección X.

(a)

$$(\text{Inicial})MV_x - F_x(1) = (\text{final})MV_x$$

$$M(30) - F_x = M(+11{,}33)$$

y $F_x = \frac{1000}{9{,}8}[\frac{\pi}{4}(0{,}10)^2 \times 10](30 - 11{,}33) = 149{,}5$ kg hacia la izquierda y actuando sobre el agua.

(b)

$$(\text{Inicial})MV_y - F_y(1) = (\text{final})MV_y$$

$$M(0) - F_y = M(+5)$$

y $F_y = \frac{1000}{9{,}8}[\frac{\pi}{4}(0{,}10)^2 \times 10](0 - 5) = -40{,}0$ kg hacia arriba y actuando sobre el agua.

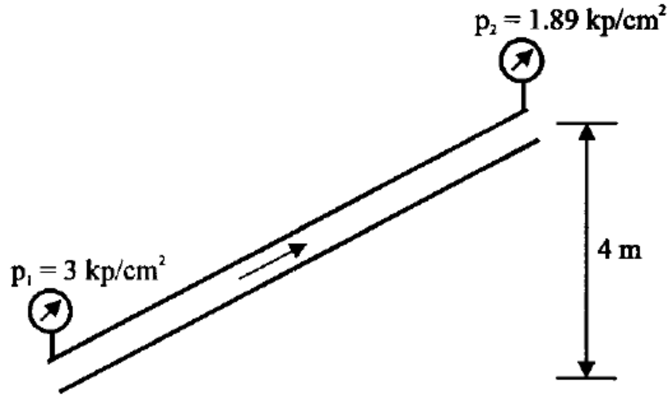
Las componentes de la fuerza ejercida por el agua sobre el álabe son 149,5 kg hacia la derecha y 40,0 kg hacia abajo.

Ejercicio 6

Un aceite de densidad 840 kg/m^3 y viscosidad 155 cp circula por una tubería de diámetro 50 mm y longitud 15 m.

a) Determinar los caudales límite donde se produce el paso de régimen laminar a transición y de transición a turbulento.

b) Cuando circula un caudal de 5 l/s los manómetros miden la presión indicada en la figura. ¿Cuál es la potencia perdida por fricción?



$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$\rho = 840 \ \mathrm{kg/m^3}$$

$$\mu = 155 \ cp = 1{,}55 \ \text{poise} = 0{,}155 \ \text{poiseuille}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0{,}155}{840} = 1{,}845 \cdot 10^{-4} \ \mathrm{m^2/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot 0{,}05}{1{,}845 \cdot 10^{-4}}$$

$$Re < 2000 \longrightarrow \boxed{\begin{array}{l} v < 7{,}38 \ \mathrm{m/s} \\ Q < 14{,}49 \ \mathrm{l/s} \end{array}}$$

$$Re > 4000 \longrightarrow \boxed{\begin{array}{l} v > 14{,}76 \ \mathrm{m/s} \\ Q > 28{,}98 \ \mathrm{l/s} \end{array}}$$

(b)

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \cancel{\frac{V_1^2}{2g}} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \cancel{\frac{V_2^2}{2g}} + h_f$$

$$\frac{3 \cdot 9{,}81 \cdot 10^4}{9{,}81 \cdot 840} + 0 = \frac{1{,}89 \cdot 9{,}81 \cdot 10^4}{9{,}81 \cdot 840} + 4 + h_f$$

$$35{,}71 = 22{,}5 + 4 + h_f \implies \boxed{h_f = 9{,}21 \text{ m.c. Fluido}}$$

$$\text{Potencia} = \gamma \cdot Q \cdot h_f = 9{,}81 \cdot 840 \cdot 0{,}005 \cdot 9{,}21 = \boxed{379{,}5 \text{ vatios}}$$

<u>OTRA POSIBILIDAD:</u>

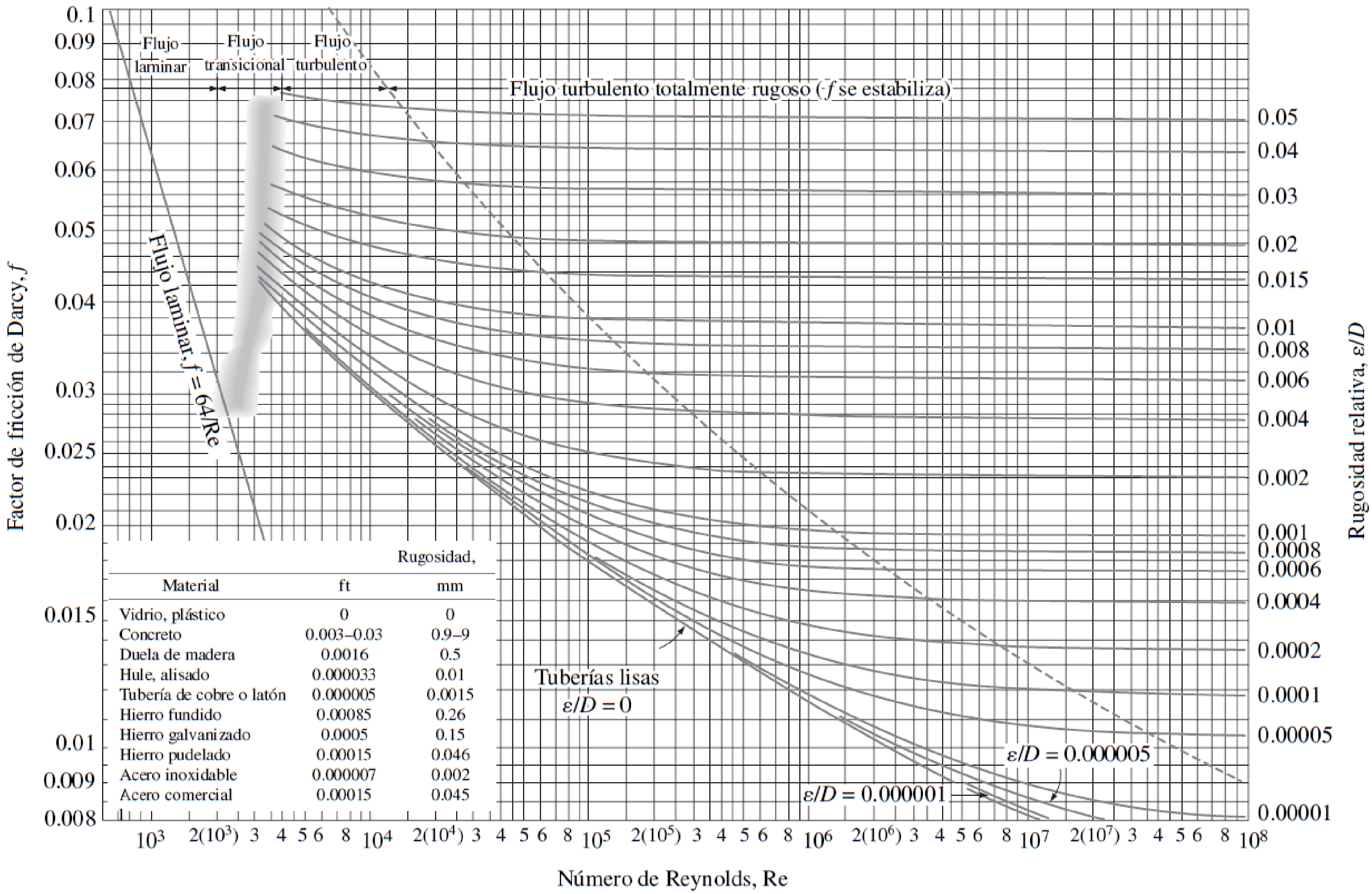
$$Q = 5 \text{ l/s} \longrightarrow V = 2{,}55 \text{ m/s} \longrightarrow Re = \frac{2{,}55 \cdot 0{,}05}{1{,}845 \cdot 10^{-4}} = 691 < 2000$$

<u>RÉGIMEN LAMINAR</u>

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{691} = 0{,}0926$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0{,}0926 \cdot \frac{15}{0{,}05} \cdot \frac{2{,}55^2}{2g} = 9{,}21 \text{ m.c. Fluido}$$

$$\text{Potencia} = \gamma \cdot Q \cdot h_f = \boxed{379{,}5 \text{ vatios}}$$



Material	Rugosidad, ft	mm
Vidrio, plástico	0	0
Concreto	0.003–0.03	0.9–9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro pudelado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

FIGURA A-12

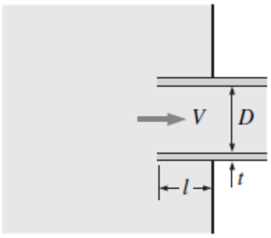
El diagrama de Moody para el factor fricción para flujo totalmente desarrollado en tuberías circulares para usar en la relación de pérdida de carga $h_L = f\dfrac{L}{D}\dfrac{V^2}{2g}$. Los factores de fricción en el flujo turbulento se evalúan a partir de la ecuación de Colebrook $\dfrac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\dfrac{\varepsilon/D}{3.7} + \dfrac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}}\right)$.

TABLA 8-4

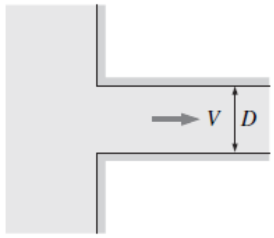
Coeficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2/(2g)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)*

Entrada de la tubería

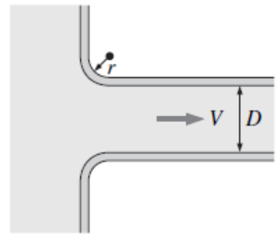
Reentrante: $K_L = 0.80$
($t \ll D$ e $l \approx 0.1D$)



De borde agudo: $K_L = 0.50$

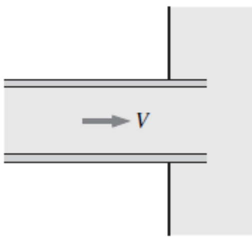


Redondeada ($r/D > 0.2$): $K_L = 0.03$
Ligeramente redondeada ($r/D = 0.1$): $K_L = 0.12$
(*véase figura* 8-36)

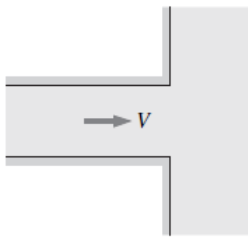


Salida de la tubería

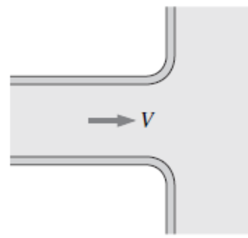
Reentrante: $K_L = \alpha$



De borde agudo: $K_L = \alpha$



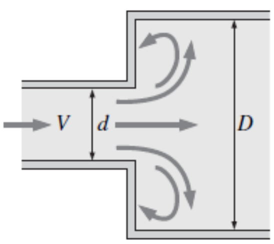
Redondeada: $K_L = \alpha$



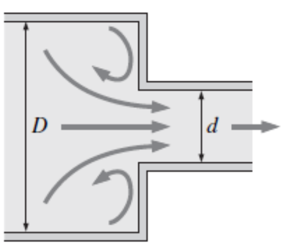
Nota: el factor de corrección de energía cinética es $\alpha = 2$ para flujo laminar totalmente desarrollado, y $\alpha \approx 1$ para flujo turbulento totalmente desarrollado.

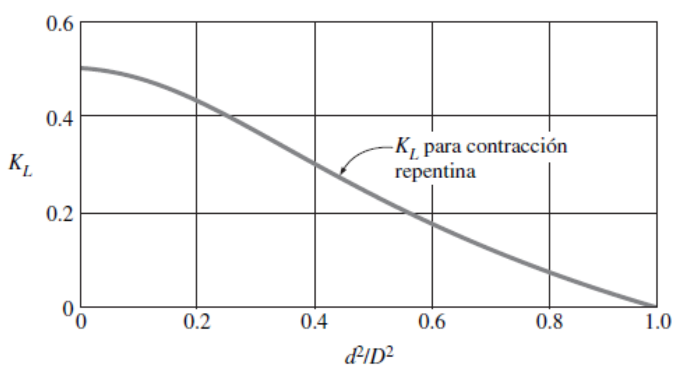
Expansión y contracción repentina (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión repentina: $K_L = \left(1 - \dfrac{d^2}{D^2}\right)^2$



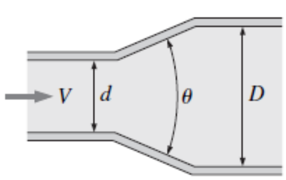
Contracción repentina: ver gráfica.





Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)

Expansión:
$K_L = 0.02$ para $\theta = 30°$
$K_L = 0.04$ para $\theta = 45°$
$K_L = 0.07$ para $\theta = 60°$



Contracción (para $\theta = 20°$):
$K_L = 0.30$ para $d/D = 0.2$
$K_L = 0.25$ para $d/D = 0.4$
$K_L = 0.15$ para $d/D = 0.6$
$K_L = 0.10$ para $d/D = 0.8$

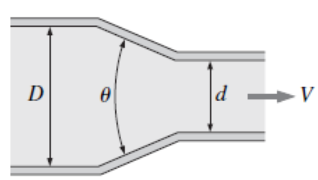
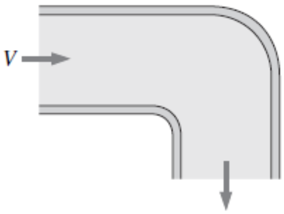
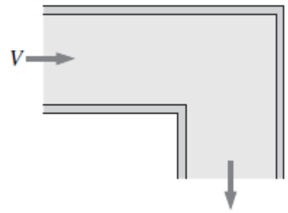
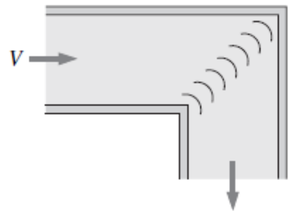
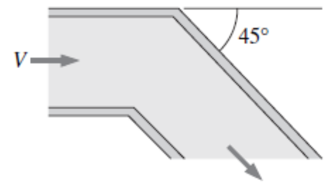
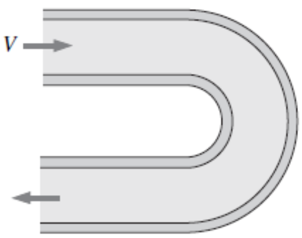
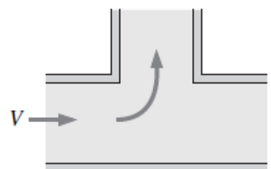
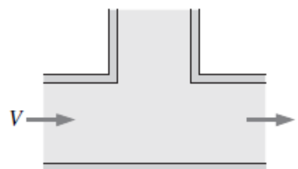
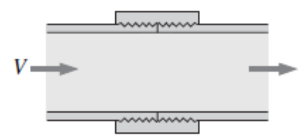


TABLA 8-4 (CONCLUSIÓN)

Codos y ramificaciones *Codo suave de 90°:* Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$	*Codo esquinado de 90°* (sin álabes directores): $K_L = 1.1$	*Codo esquinado de 90°* (con álabes directores): $K_L = 0.2$	*Codo roscado de 45°:* $K_L = 0.4$
			
Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$	*Conexión en T* (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$	*Conexión en T* (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$	*Unión roscada:* $K_L = 0.08$
			

Válvulas

Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$	Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$
Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$	$\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$
Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$	$\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$
Válvula de charnela: $K_L = 2$	$\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$

* Ésos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.