FLUIDOS EN MOVIMIENTO 14

FLUJO O DESCARGA DE UN FLUIDO (Q)**:** Cuando un fluido que llena un tubo corre a lo largo de este tubo con rapidez promedio v, el *flujo* o *descarga* Q es

$$Q = Av$$

donde A es el área de la sección transversal del tubo. Las unidades de Q en el SI son m^3/s y en el sistema inglés son pie^3/s. Algunas veces Q se llama *tasa de flujo* o **tasa de descarga**.

ECUACIÓN DE CONTINUIDAD: Suponga un fluido *incompresible* (densidad constante) que llena un tubo y fluye a través de él. Suponga además que el área de la sección transversal del tubo es A_1 en un punto y A_2 en otro. Ya que el flujo a través de A_1 debe ser igual al flujo a través de A_2 se tiene

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{constante}$$

donde v_1 y v_2 son las rapideces promedio del fluido en A_1 y A_2, respectivamente.

LA TASA DE CORTE de un fluido es la tasa a la cual cambia la deformación de corte dentro del fluido. Puesto que la deformación no tiene unidades, la unidad en el SI para la tasa de corte es s^{-1}.

LA VISCOSIDAD (η) de un fluido es la medida del esfuerzo cortante requerido para producir una unidad de tasa de corte. Sus unidades están definidas como las del esfuerzo por unidad de tasa de corte, es decir, $Pa \cdot s$ en el SI. Otra unidad en SI es el $N \cdot s/m^2$ (o bien $kg/m \cdot s$), llamada *poiseuille* (Pl): $1\ Pl = 1\ kg/m \cdot s = 1\ Pa \cdot s$. Otras unidades utilizadas son el *poise* (P), donde $1\ P = 0.1\ Pl$, y el *centipoise* (cP), donde $1\ cP = 10^{-3}\ Pl$. Un fluido viscoso, como el alquitrán, tiene una η muy grande.

LEY DE POISEUILLE: El flujo de un fluido a través de un tubo cilíndrico de longitud L y sección transversal de radio R está dado por

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_i - P_o)}{8 \eta L}$$

donde $P_i - P_o$ es la diferencia de presiones entre los extremos del tubo (entrada menos salida).

EL TRABAJO EFECTUADO POR UN PISTÓN en forzar un volumen V de fluido dentro de un cilindro contra una presión opuesta P está dado por PV.

EL TRABAJO EFECTUADO POR UNA PRESIÓN P que actúa sobre una superficie de área A conforme la superficie se mueve una distancia Δx normal a la superficie (con lo cual desplaza un volumen $A\,\Delta x = \Delta V$) se define por

$$\text{Trabajo} = PA\,\Delta x = P\,\Delta V$$

ECUACIÓN DE BERNOULLI para el flujo estacionario de una corriente continua de fluido: considere dos puntos diferentes a lo largo de la trayectoria de la corriente. Sea el punto 1 a una altura h_1 y sean v_1, ρ_1 y P_1 la rapidez, la densidad y la presión del fluido en ese punto. De igual manera se denotan estas cantidades como h_2, v_2, ρ_2 y P_2 para el punto 2. Entonces, si se supone que el fluido es incompresible y que su viscosidad es despreciable,

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1 \rho g = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2 \rho g$$

donde $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ y g es la aceleración debida a la gravedad.

TEOREMA DE TORRICELLI: Suponga que un tanque contiene líquido y está abierto a la atmósfera en su parte superior. Si en el tanque existe un orificio (abertura) a una distancia h debajo de la capa más alta del líquido, entonces

www.geolay.cl

la *rapidez de salida* de éste por el orificio es $\sqrt{2gh}$, siempre que el líquido obedezca la ecuación de Bernoulli y el tanque sea lo suficientemente grande como para considerar que su capa superior está en reposo.

EL NÚMERO DE REYNOLDS (N_R) es un número adimensional que se aplica a un fluido de viscosidad η y densidad ρ y que corre con rapidez v a través de un tubo (o pasando un obstáculo) con diámetro D:

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}$$

Para sistemas con la misma geometría, los flujos usualmente serán similares siempre que sus números de Reynolds estén cercanos. Los *flujos turbulentos* se presentan cuando el N_R del fluido es mayor que 2 000 para tuberías y mayor que 10 para obstáculos.

PROBLEMAS RESUELTOS

14.1 [I] A través de un tubo de 8.0 cm de diámetro fluye aceite a una rapidez promedio de 4.0 m/s. ¿Cuál es el flujo Q en m³/s y m³/h?

$$Q = Av = \pi\,(0.040 \text{ m})^2(4.0 \text{ m/s}) = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$= (0.020 \text{ m}^3/\text{s})(3\,600 \text{ s/h}) = 72 \text{ m}^3/\text{h}$$

14.2 [I] De manera experimental se encuentra que por un tubo cuyo diámetro interno es de 7.0 mm salen exactamente 250 mL de flujos de fluido en un tiempo de 41 s. ¿Cuál es la rapidez promedio del fluido en el tubo?

Ya que 1 mL $= 10^{-6}$ m³, y que $Q = Av$,

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{(250 \times 10^{-6} \text{ m}^3)/(41 \text{ s})}{\pi(0.0035 \text{ m})^2} = 0.16 \text{ m/s}$$

14.3 [I] Un acueducto de 14 cm de diámetro interno (d.i.) surte agua (a través de una cañería) al tubo de la llave de 1.00 cm de d.i. Si la rapidez promedio en el tubo de la llave es de 3.0 cm/s, ¿cuál será la rapidez promedio en el acueducto?

Los dos flujos son iguales. De la ecuación de continuidad se sabe que

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Sea 1 la llave y 2 el acueducto,

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = v_1 \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} = (3.0 \text{ cm/s})\left(\frac{1}{14}\right)^2 = 0.015 \text{ cm/s}$$

14.4 [II] ¿Cuánta agua fluirá en 30.0 s por un tubo capilar de 200 mm de longitud y 1.50 mm de d.i., si la diferencia de presiones a lo largo del tubo es de 5.00 cm de mercurio? La viscosidad del agua es de 0.801 cP y la densidad del mercurio (ρ) es de 13 600 kg/m³.

Se aplicará la ley de Poiseuille con

$$P_i - P_0 = \rho g h = (13\,600 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.0500 \text{ m}) = 6\,660 \text{ N/m}^2$$

y
$$\eta = (0.801 \text{ cP})\left(10^{-3}\,\frac{\text{kg/m}\cdot\text{s}}{\text{cP}}\right) = 8.01 \times 10^{-4} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

www.geolay.cl

Entonces, se tiene

$$Q = \frac{\pi r^4(P_i - P_o)}{8\eta L} = \frac{\pi(7.5 \times 10^{-4}\ \text{m})^4(6\,660\ \text{N/m}^2)}{8(8.01 \times 10^{-4}\ \text{kg/m}\cdot\text{s})(0.200\ \text{m})} = 5.2 \times 10^{-6}\ \text{m}^3/\text{s} = 5.2\ \text{mL/s}$$

En 30.0 s, la cantidad que fluirá fuera del tubo es (5.2 mL/s)(30 s) $= 1.6 \times 10^2$ mL.

14.5 [II] La arteria de una persona se reduce a la mitad de su diámetro inicial por depósitos en la pared interior. ¿En qué factor disminuirá el flujo de sangre a través de la arteria si la diferencia de presión a lo largo de ella permanece constante?

De la ley de Poiseuille, $Q \propto r^4$. Por tanto,

$$\frac{Q_{\text{final}}}{Q_{\text{original}}} = \left(\frac{r_{\text{final}}}{r_{\text{original}}}\right)^4 = \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 0.0625$$

14.6 [II] Bajo la misma diferencia de presión, compare el flujo de agua a través de un tubo con el de aceite SAE núm. 10. Se sabe que η para el agua es 0.801 cP y η para el aceite es 200 cP.

De la ley de Poiseuille, $Q \propto 1/\eta$. Por tanto, dado que todo lo demás se cancela,

$$\frac{Q_{\text{agua}}}{Q_{\text{aceite}}} = \frac{200\ \text{cP}}{0.801\ \text{cP}} = 250$$

así que el flujo del agua es 250 veces mayor que el correspondiente al aceite bajo la misma diferencia de presión.

14.7 [II] Calcule la salida de potencia del corazón si, por cada latido, bombea 75 mL de sangre con una presión promedio de 100 mmHg. Considere 65 latidos por minuto.

El trabajo realizado por el corazón es $P\Delta V$. En un minuto, $\Delta V = (65)(75 \times 10^{-6}\ \text{m}^3)$. Por otro lado

$$P = (100\ \text{mmHg})\frac{1.01 \times 10^5\ \text{Pa}}{760\ \text{mmHg}} = 1.33 \times 10^4\ \text{Pa}$$

en consecuencia

$$\text{Potencia} = \frac{\text{trabajo}}{\text{tiempo}} = \frac{(1.33 \times 10^4\ \text{Pa})[(65)(75 \times 10^{-6}\ \text{m}^3)]}{60\ \text{s}} = 1.1\ \text{W}$$

14.8 [II] Un tanque abierto en su parte superior tiene una abertura de 3.0 cm de diámetro que se encuentra a 5.0 m por debajo del nivel del agua contenida en el tanque. ¿Qué volumen de líquido saldrá por minuto a través de dicha abertura? (Vea la figura 14.1.)

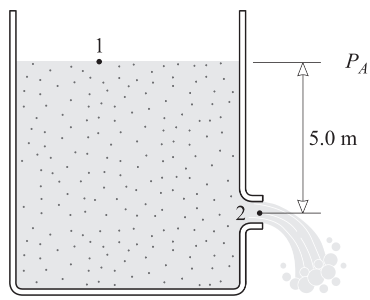

Figura 14-1

En este caso puede aplicarse la ecuación de Bernoulli: 1 es la parte superior del nivel y 2 el orificio. La presión en la salida, adentro del chorro libre, es la atmosférica. Entonces $P_1 = P_2$ y $h_1 =$ 5.0 m, $h_2 = 0$.

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g$$
$$\tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g$$

Si el tanque es lo suficientemente grande, v_1 puede considerarse cero. Por tanto, al resolver para v_2, se obtiene la ecuación de Torricelli:

$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} = \sqrt{2(9.81\ \text{m/s}^2)(5.0\ \text{m})} = 9.9\ \text{m/s}$$

y el flujo está dado por

$$Q = v_2A_2 = (9.9\ \text{m/s})\pi\,(1.5 \times 10^{-2}\ \text{m})^2 = 7.0 \times 10^{-3}\ \text{m}^3/\text{s} = 0.42\ \text{m}^3/\text{min}$$

www.geolay.cl

14.9[II] Un tanque de agua abierto al aire tiene una fuga en la posición 2 que muestra la figura 14-2, donde la presión del agua en la posición 1 es de 500 kPa. ¿Cuál es la velocidad de escape del agua por el orificio?

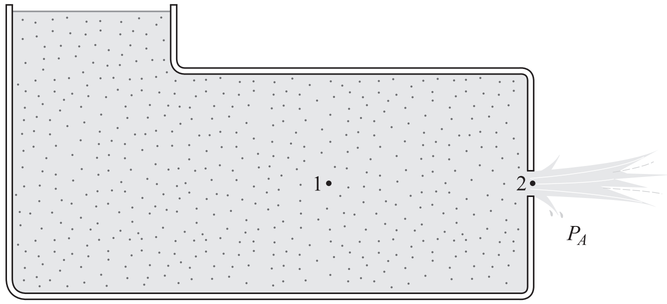

Figura 14-2

La presión en la posición 2 en el chorro libre es atmosférica. Se usará la ecuación de Bernoulli con $P_1 - P_2 = 5.00 \times 10^5$ N/m², $h_1 = h_2$ y la aproximación de $v_1 = 0$. Entonces

$$(P_1 - P_2) + (h_1 - h_2)\rho g = \tfrac{1}{2}\rho v_2^2$$

de donde
$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(5.00 \times 10^5 \text{ N/m}^2)}{1000 \text{ kg/m}^3}} = 31.6 \text{ m/s}$$

14.10 [III] El agua fluye a la tasa de 30 mL/s a través de una abertura que se encuentra en el fondo de un tanque grande donde el líquido tiene una profundidad de 4.0 m. Calcule la tasa con que escapa el agua si a su nivel superior se le agrega una presión de 50 kPa.

Tome la posición 1 en la superficie del líquido en la parte superior del tanque y la posición 2 en la abertura. La ecuación de Bernoulli para el caso en que esencialmente v_1 es cero es,

$$(P_1 - P_2) + (h_1 - h_2)\rho g = \tfrac{1}{2}\rho v_2^2$$

Esta ecuación puede aplicarse dos veces, antes de agregar la presión y después.

$$(P_1 - P_2)_{\text{antes}} + (h_1 - h_2)\rho g = \tfrac{1}{2}\rho(v_2^2)_{\text{antes}}$$

$$(P_1 - P_2)_{\text{antes}} + 5 \times 10^4 \text{ N/m}^2 + (h_1 - h_2)\rho g = \tfrac{1}{2}\rho(v_2^2)_{\text{después}}$$

Si la abertura y la parte superior del tanque estaban inicialmente a la presión atmosférica, entonces

$$(P_1 - P_2)_{\text{antes}} = 0$$

Entonces, al dividir la segunda ecuación entre la primera, se consigue

$$\frac{(v_2^2)_{\text{después}}}{(v_2^2)_{\text{antes}}} = \frac{5 \times 10^4 \text{ N/m}^2 + (h_1 - h_2)\rho g}{(h_1 - h_2)\rho g}$$

Pero
$$(h_1 - h_2)\upsilon g = (4.0 \text{ m})(1\,000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2) = 3.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

de donde
$$\frac{(v_2)_{\text{después}}}{(v_2)_{\text{antes}}} = \sqrt{\frac{8.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2}{3.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2}} = 1.51$$

Puesto que $Q = A\rho$, ésta puede escribirse como

$$\frac{Q_{\text{después}}}{Q_{\text{antes}}} = 1.51 \quad \text{o} \quad Q_{\text{después}} = (30 \text{ mL/s})(1.51) = 45 \text{ mL/s}$$

www.geolay.cl

14.11 [II] ¿Cuánto trabajo W realiza una bomba para elevar 5.00 m^3 de agua hasta una altura de 20.0 m e impulsarla dentro de un acueducto a una presión de 150 kPa?

$$W = (\text{trabajo para elevarla}) + (\text{trabajo para impulsarla}) = mgh + P\Delta V$$

$$W = (5.00\ m^3)(1\,000\ kg/m^3)(9.81\ m/s^2)(20.0\ m) + (1.50 \times 10^5\ N/m^2)(5.00\ m^3) = 1.73 \times 10^6\ J$$

14.12 [II] Un tubo horizontal tiene la forma que se presenta en la figura 14-3. En el punto 1 el diámetro es de 6.0 cm, mientras que en el punto 2 es sólo de 2.0 cm. En el punto 1, $v_1 = 2.0$ m/s y $P_1 = 180$ kPa. Calcule v_2 y P_2.

Como hay dos incógnitas, se necesitarán dos ecuaciones. Luego de aplicar la ecuación de Bernoulli con $h_1 = h_2$, se obtiene

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad \text{o} \qquad P_1 + \tfrac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) = P_2$$

Sin embargo, $v_1 = 2.0$ m/s y la ecuación de continuidad establece que

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = (2.0\ \text{m/s})\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = (2.0\ \text{m/s})(9.0) = 18\ \text{m/s}$$

Al sustituir se obtiene

$$1.80 \times 10^5\ \text{N/m}^2 + \tfrac{1}{2}(1000\ \text{kg/m}^3)[(2.0\ \text{m/s})^2 - (18\ \text{m/s})^2] = P_2$$

de donde $P_2 = 0.20 \times 10^5\ N/m^2 = 20$ kPa.

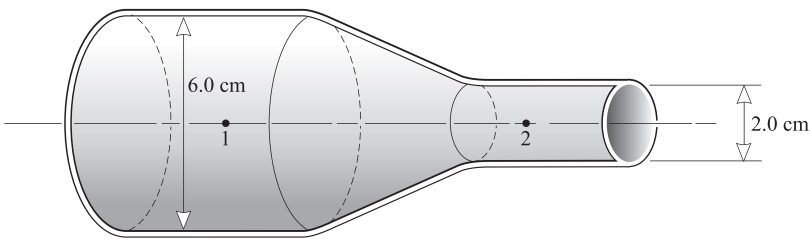

Figura 14-3

14.13 [III] ¿Cuál debe ser la presión manométrica en una manguera de gran diámetro si se quiere que el agua lanzada por la boquilla alcance una altura de 30.0 m en dirección vertical?

Para que un proyectil alcance una altura h, debe lanzarse con una rapidez inicial $\sqrt{2gh}$. (Esto se obtiene al igualar $\frac{1}{2}mv_0^2$ con mgh.) Esta rapidez se puede calcular en términos de la diferencia de presiones dentro y fuera de la manguera (presión manométrica) escribiendo la ecuación de Bernoulli para puntos justo dentro y fuera de la boquilla en términos de presión absoluta:

$$P_{\text{dentro}} + \tfrac{1}{2}\rho v_{\text{dentro}}^2 + h_{\text{dentro}}\rho g = P_{\text{fuera}} + \tfrac{1}{2}\rho v_{\text{fuera}}^2 + h_{\text{fuera}}\rho g$$

Ya que $h_{\text{fuera}} \approx h_{\text{dentro}}$ y $v_{\text{dentro}} \approx 0$, se tiene

$$P_{\text{dentro}} - P_{\text{fuera}} = \tfrac{1}{2}\rho v_{\text{fuera}}^2$$

Al sustituir v_{fuera} por $\sqrt{2gh}$, se obtiene

$$P_{\text{dentro}} - P_{\text{fuera}} = \rho gh = (1\,000\ kg/m^3)(9.81\ m/s^2)(30.0\ m) = 294\ kPa$$

Ya que $P_{\text{fuera}} = P_A$, ésta es la presión manométrica dentro de la manguera. ¿Cómo podría obtener esta última ecuación directamente del teorema de Torricelli?

www.geolay.cl

14.14 [III] ¿A qué tasa fluye el agua desde una llave de 0.80 cm de d.i. si la presión del agua (o manométrica) es de 200 kPa?

Se aplica la ecuación de Bernoulli para puntos justo dentro (1) y fuera (2) de la llave:

$$P_{\text{dentro}} + \tfrac{1}{2}\rho v^2_{\text{dentro}} + h_{\text{dentro}}\rho g = P_{\text{fuera}} + \tfrac{1}{2}\rho v^2_{\text{fuera}} + h_{\text{fuera}}\rho g$$

Observe que la presión interna debida solamente al agua es de 200 kPa y por tanto $P_{\text{dentro}} = P_{\text{fuera}} = 200$ kPa, pues $P_{\text{fuera}} = P_A$. Al tomar $h_{\text{fuera}} = h_{\text{dentro}}$, se tiene

$$v^2_{\text{fuera}} - v^2_{\text{dentro}} = (200 \times 10^3 \text{ Pa})\frac{2}{\rho}$$

Si se supone $v^2_{\text{dentro}} \ll v^2_{\text{fuera}}$, se resuelve para obtener $v_{\text{fuera}} = 20$ m/s. Así pues, la tasa de flujo es

$$Q = vA = (20 \text{ m/s})(\pi r^2) = (20 \text{ m/s})(\pi)(0.16 \times 10^{-4} \text{ m}^2) = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

14.15 [II] El tubo que se muestra en la figura 14-4 tiene un diámetro de 16 cm en la sección 1 y 10 cm en la sección 2. En la sección 1 la presión es de 200 kPa. El punto 2 está 6.0 m más alto que el punto 1. Si un aceite de 800 kg/m³ de densidad fluye a una tasa de 0.030 m³/s, encuentre la presión en el punto 2 si los efectos de la viscosidad son despreciables.

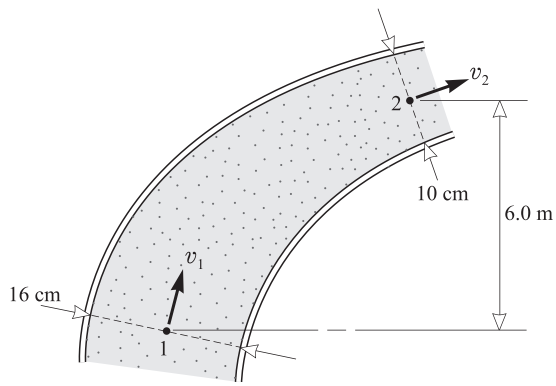

Figura 14-4

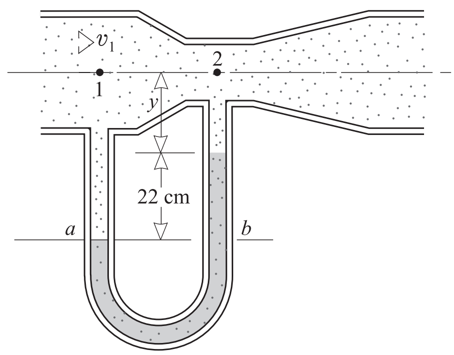

Figura 14-5

De $Q = v_1A_1 = v_2A_2$ se tiene

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0.030 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(8.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 1.49 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.030 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(5.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 3.82 \text{ m/s}$$

Ahora se puede utilizar la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g(h_1 - h_2) = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho v_2^2$$

dadas $P_1 = 2.00 \times 10^5 \text{ N/m}^2, h_2 - h_1 = 6 \text{ m}$ y $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, se obtiene

$$P_2 = 2.00 \times 10^5 \text{ N/m}^3 + \tfrac{1}{2}(800 \text{ kg/m}^3)[(1.49 \text{ m/s})^2 - (3.82 \text{ m/s})^2] - (800 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(6.0 \text{ m})$$
$$= 1.48 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.5 \times 10^5 \text{ kPa.}$$

14.16 [III] En la figura 14-5 se muestra un medidor Venturi equipado con un manómetro diferencial de mercurio. En la toma, punto 1, el diámetro es de 12 cm, mientras que en la garganta, punto 2, el diámetro es de 6.0 cm.

www.geolay.cl

¿Cuál es el flujo Q de agua a través del medidor, si la lectura en el manómetro es de 22 cm? La densidad del mercurio es de 13.6 g/cm^3.

De la lectura del manómetro (recuerde que 1 g/cm^3 = 1 000 kg/m^3) se obtiene

$$P_1 - P_2 = \rho gh = (13\,600 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.22 \text{ m}) = 2.93 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

Ya que $Q = v_1A_1 = v_2A_2$, se tiene $v_1 = Q/A_1$ y $v_2 = Q/A_2$. Al utilizar la ecuación de Bernoulli, con $h_1 - h_2 = 0$, se consigue

$$(P_1 - P_2) + \tfrac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) = 0$$

$$2.93 \times 10^4 \text{ N/m}^2 + \tfrac{1}{2}(1\,000 \text{ kg/m}^3)\left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2}\right)Q^2 = 0$$

donde

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi(0.060)^2 \text{ m}^2 = 0.01131 \text{ m}^2 \quad \text{y} \quad A_2 = \pi r_2^2 = \pi(0.030)^2 \text{ m}^2 = 0.0028 \text{ m}^2$$

Al sustituir se encuentra que $Q = 0.022$ m^3/s.

14.17 [III] Se utiliza un túnel de viento con un modelo de automóvil de 20 cm de altura para reproducir aproximadamente la situación en la que un automóvil de 550 cm de altura se mueve a 15 m/s. ¿Cuál debe ser la rapidez del viento en el túnel? ¿Es probable que el flujo sea turbulento?

Se desea que el número de Reynolds N_R sea el mismo para ambos casos, así que las situaciones serán similares. Esto es, se quiere que

$$N_R = \left(\frac{\rho v D}{\eta}\right)_{\text{túnel}} = \left(\frac{\rho v D}{\eta}\right)_{\text{aire}}$$

En virtud de que v y η son iguales para los dos casos, se tiene

$$v_t D_t = v_a D_a \quad \text{de donde} \quad v_t = v_a \frac{D_a}{D_t} = (15 \text{ m/s})(550/20) = 0.41 \text{ km/s}$$

Para investigar la turbulencia se evalúa N_R utilizando los valores para el aire: $\rho = 1.29$ kg/m^3 y $\eta = 1.8 \times 10^{-5}$ Pa · s. Al sustituir se obtiene $N_R = 5.9 \times 10^6$, un valor mucho mayor que el requerido para flujo turbulento. Ciertamente el flujo será turbulento.

PROBLEMAS COMPLEMENTARIOS

14.18 [I] A través de un tubo de 4.0 cm d.i. fluye aceite a una rapidez promedio de 2.5 m/s. Encuentre el flujo en m^3/s y cm^3/s. **Resp.** 3.1×10^{-3} m^3/s = 3.1×10^3 cm^3/s.

14.19 [I] Calcule la rapidez promedio del agua que circula por un tubo cuyo d.i. es de 5.0 cm y que entrega 2.5 m^3 de agua por hora. **Resp.** 0.35 m/s.

14.20 [II] La rapidez de la glicerina que fluye en un tubo de 5.0 cm de d.i. es de 0.54 m/s. Encuentre la rapidez del fluido en un tubo de 3.0 cm de d.i. que se une a él. El fluido llena ambos tubos. **Resp.** 1.5 m/s.

14.21 [II] ¿Cuánto tiempo necesitarán 500 mL de agua para fluir a través de una tubería de 15 cm de largo y 3.0 mm de d.i., si la diferencia de presión a lo largo del tubo es de 4.0 kPa? La viscosidad del agua es de 0.80 cP. **Resp.** 7.5 s.

14.22 [II] Cierto plástico fundido fluye hacia el exterior de un tubo de 8.0 cm de largo a una tasa de 13 cm^3/min, cuando la diferencia de presión entre los dos extremos del tubo es de 18 cm de mercurio. Encuentre la viscosidad

www.geolay.cl

del plástico. El d.i. del tubo es de 1.30 mm. La densidad del mercurio es de 13.6 g/cm^3. **Resp.** 0.097 kg/m · s = 97 cP.

14.23 [II] En un sistema horizontal de tubos, uno de ellos (d.i. = 4.0 mm) de 20 cm de largo se conecta en línea con otro (d.i. = 5.0 mm) de 30 cm de largo. Cuando un fluido viscoso se empuja a través de los tubos a una tasa estacionaria, ¿cuál es la razón de la diferencia de presión a través del tubo de 20 cm en relación con la del tubo de 30 cm? **Resp.** 1.6.

14.24 [II] Una aguja hipodérmica de 3.0 cm de longitud y d.i. de 0.45 mm se utiliza para extraer sangre (η = 4.0 mPl). Si supone que la diferencia de presión en la aguja es de 80 cmHg, ¿cuánto tiempo tomará sacar 15 mL? **Resp.** 17 s.

14.25 [II] En una transfusión sanguínea la sangre fluye desde una botella a presión atmosférica hasta el interior de la vena de un paciente donde la presión es 20 mmHg superior a la atmosférica. La botella está 95 cm más arriba que la vena, en la cual se encuentra la aguja que tiene una longitud de 3.0 cm y un d.i. de 0.45 mm. ¿Cuánta sangre fluye al interior de la vena por minuto? Para la sangre, η = 0.0040 Pa · s y ρ = 1 005 kg/m^3. **Resp.** 3.4 cm^3.

14.26 [I] ¿Cuánto trabajo realiza el pistón de un sistema hidráulico durante una carrera de 2.0 cm, si el área del extremo del pistón es de 0.75 cm^2 y la presión en el fluido del sistema es de 50 kPa? **Resp.** 75 mJ.

14.27 [II] A un tanque grande que contiene un líquido no viscoso se le hace una perforación 4.5 m abajo del nivel superior del líquido. ¿Cuál es la velocidad teórica de salida a través del orificio? Si el área de la abertura es de 0.25 cm^2, ¿cuánto líquido saldrá en exactamente un minuto? **Resp.** 9.4 m/s, 0.0141 m^3.

14.28 [II] Determine el flujo en litros/s de un líquido no viscoso a través de un orificio de 0.50 cm^2 de área y que se encuentra 2.5 m por debajo del nivel del líquido en un tanque abierto rodeado de aire. **Resp.** 0.35 litros/s.

14.29 [II] Calcule la velocidad teórica del derrame de agua, hacia el aire circundante, desde una abertura que está 8.0 m abajo de la superficie del agua en un gran tanque, si a la superficie del agua se aplica una presión adicional de 140 kPa. **Resp.** 21 m/s.

14.30 [II] ¿Cuántos caballos de fuerza (hp) se requieren para impulsar 8.0 m^3 de agua por minuto dentro de un acueducto con una presión de 220 kPa? **Resp.** 39 hp.

14.31 [II] Desde un lago, una bomba eleva agua con una tasa de 9.0 litros/s a través de un tubo de 5.0 cm de d.i. y la descarga en el aire en un punto ubicado a 16 m sobre el nivel del agua en el lago. ¿Cuáles son en teoría *a*) la velocidad del agua en el punto de descarga y *b*) la potencia desarrollada por la bomba?
Resp. *a*) 4.6 m/s; *b*) 2.0 hp.

14.32 [II] A través de un tubo horizontal de sección transversal variable se establece un flujo de agua estacionario. En un lugar la presión es de 130 kPa y la velocidad es de 0.60 m/s. Determine la presión en otro punto del mismo tubo donde la rapidez es de 9.0 m/s. **Resp.** 90 kPa.

14.33 [II] Un tubo de diámetro interno variable transporta agua. En el punto 1 el diámetro es de 20 cm y la presión de 130 kPa. En el punto 2, que está 4.0 m más arriba que el punto 1, el diámetro es de 30 cm. Si el flujo es de 0.080 m^3/s, ¿cuál es la presión en el segundo punto? **Resp.** 93 kPa.

14.34 [II] Un combustóleo de 820 kg/m^3 de densidad fluye a través de un medidor Venturi que tiene un diámetro de garganta de 4.0 cm y un diámetro de entrada de 8.0 cm. La caída de presión entre la entrada y la garganta es de 16 cm de mercurio. Encuentre el flujo. La densidad del mercurio es de 13 600 kg/m^3. **Resp.** 9.3×10^{-3} m^3/s.

14.35 [II] Determine la máxima cantidad de agua que puede fluir por minuto a través de un tubo de 3.0 cm de d.i. sin que haya turbulencia. Considere que el máximo número de Reynolds para un flujo no turbulento debe ser de 2 000. Para el agua a 20 °C, $\eta = 1.0 \times 10^{-3}$ Pa · s. **Resp.** 0.0028 m^3.

14.36 [I] ¿Cuán rápido puede caer una gota de lluvia (r = 1.5 mm) a través del aire, si el flujo que lo rodea estará cerca de la turbulencia, es decir, para N_R cercano a 10? Para el aire, $\eta = 1.8 \times 10^{-5}$ Pa · s y υ = 1.29 kg/m^3. **Resp.** 4.6 cm/s.

www.geolay.cl