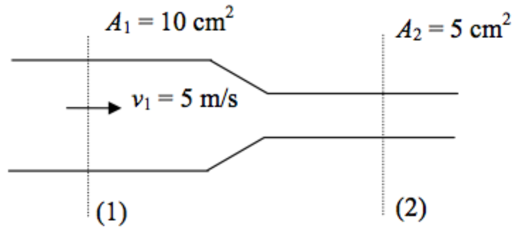
Disciplina: Fenômenos de Transporte Profa: Suely Midori Aoki

Exercícios – Hidrodinâmica

Vazão

(obs: vazão volumétrica está aqui indicado como Q)

Exercício R.2.3.1. Na tubulação convergente da figura, calcule a vazão em volume e a velocidade na seção 2 sabendo que o fluido é incompressível.



$$Q_1 = Q_2$$

$$v_1 . A_1 = v_2 . A_2 \quad \Rightarrow \quad v_2 = v_1 . \frac{A_1}{A_2} = 5 . \frac{10}{5} = 10\, m/s$$

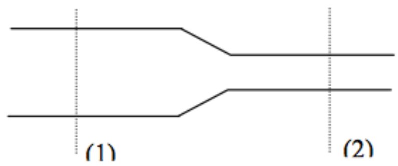
A vazão em volume é :

$$Q_1 = v_1 . A_1 = 5\left(\frac{m}{s}\right).10\left(cm^2\right)10^{-4}\left(\frac{m^2}{cm^2}\right) = 5.10^{-3}\, m^3/s = 5\, dm^3/s = 5\, l/s$$

Exercício R.2.3.2. Ar escoa em regime permanente num tubo convergente. A área da maior seção do tubo é 20 cm^2 e a da menor seção é 10 cm^2. A massa específica do ar na seção (1) é 0,12 utm/m^3 enquanto que na seção (2) é 0,09 utm/m^3. Sendo a velocidade na seção (1) 10 m/s, determine:

a) a velocidade na seção (2);
b) a vazão em massa de ar nas seções (1) e (2);
c) a vazão em volume de ar nas seções (1) e (2).

a) Como o ar é um fluido compressível, a equação da continuidade é :



$$Q_m^1 = Q_m^2 \quad \Rightarrow \quad \rho_1 . v_1 . A_1 = \rho_2 . v_2 . A_2$$

$$v_2 = \frac{\rho_1 . v_1 . A_1}{\rho_2 . A_2} = \frac{0{,}12\left(\frac{utm}{m^3}\right).10\left(\frac{m}{s}\right).20\left(cm^2\right)}{0{,}09\left(\frac{utm}{m^3}\right).10\left(cm^2\right)} = 26{,}7\, m/s$$

b) As vazões em massa em (1) e (2) são iguais (regime permanente):

$$Q_m = \rho_1 . v_1 . A_1 = 0{,}12\left(\frac{utm}{m^3}\right).10\left(\frac{m}{s}\right).20\left(cm^2\right)10^{-4}\left(\frac{m^2}{cm^2}\right) = 2{,}4.10^{-3}\, \frac{utm}{s}$$

c) As vazões em volume em (1) e (2) são são diferentes (fluido compressível):

$$Q_1 = v_1 . A_1 = 10\left(\frac{m}{s}\right).20\times10^{-4}\left(m^2\right) = 20\times10^{-3}\, m^3/s \quad \Rightarrow \quad Q_1 = 20\, l/s$$

$$Q_{21} = v_2 . A_2 = 26{,}7\left(\frac{m}{s}\right)10\times10^{-4}\left(m^2\right) = 26{,}7\times10^{-3}\, m^3/s \quad \Rightarrow \quad Q_1 = 26{,}7\, l/s$$

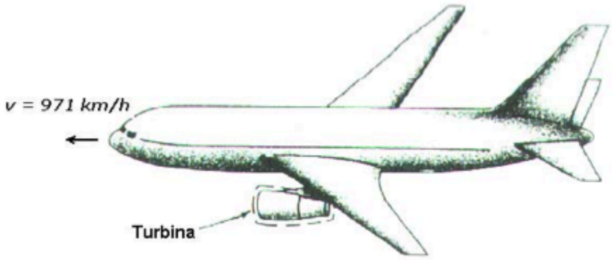
EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

Exercício P.2.3.1. Água é descarregada de um tanque cúbico de 5 m de aresta por um tubo de 5 cm de diâmetro localizado na base. A vazão de água no tubo é 10 l/s. Determinar a velocidade de descida da superfície livre da água do tanque e, supondo desprezível a variação de vazão, determinar o tempo que o nível da água levará para descer 20 cm.

Respostas : 4. 10-4 m/s ; 500 s

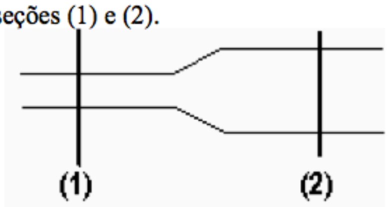
Exercício P.2.3.2. Dois reservatórios cúbicos de 10 m e 5 m de aresta, são enchidos por água proveniente de uma mesma tubulação em 500 s e 100 s, respectivamente. Determinar a velocidade da água na tubulação sabendo que o seu diâmetro é 1,0 m.
Resposta : 4,13 m/s

Exercício P.2.3.3. O avião esboçado na figura voa a 971 km/h. A área da seção frontal de alimentação de ar da turbina é igual a 0,8 m2 e o ar, neste local, apresenta massa específica de 0,736 kg/m3. Um observador situado no avião detecta que a velocidade dos gases na exaustão da turbina é igual a 2021 km/h. A área da seção transversal da exaustão da turbina é 0,558 m2 e a massa específica dos gases é 0,515 kg/m3. Determine a vazão em massa de combustível utilizada na turbina.



Resposta : 2,51 kg/s

Exercício P.2.3.4. Ar escoa em um tubo divergente, conforme a figura abaixo. A área da menor seção do tubo é 50 cm^2 e a da maior seção é 100 cm^2. A velocidade do ar na seção (1) é 18 m/s enquanto que na seção (2) é 5 m/s. Sendo a massa específica do ar na seção (1) é 0,026 kg/m^3, determine:
a) a massa específica do ar na seção (2);
b) a vazão em massa de ar nas seções (1) e (2);
c) a vazão em volume de ar nas seções (1) e (2).

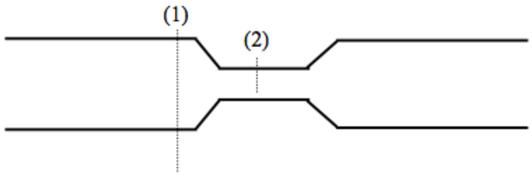


Dados/Informações Adicionais:
- Considere regime permanente e lembre-se que o ar é um fluido compressível

Resposta : 0,0468 kg/m^3 ; 0,00234 kg/s e 0,00234 kg/s ; 0,09 m^3/s e 0,05 m^3/s

2.4.4. O TUBO VENTURI

O venturi consiste de uma tubulação cuja seção varia até um minímo e, novamente, volta a ter a mesma seção inicial. Este tipo de estrangulamento é denominado de garganta. A equação de Bernoulli aplicada entre as seções (1) e (2) na figura abaixo fornece :

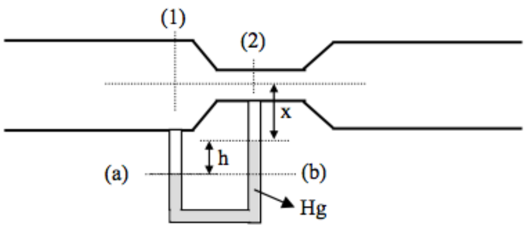


$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

Como $v_2 > v_1$, temos que $P_1 > P_2$, pode-se avaliar a velocidade medindo-se a diferença de pressão entre as seções (1) e (2). Portanto, medindo-se a diferença de pressão e conhecendo-se as áreas da seções, pode-se calcular a vazão com este dispositivo, pois pela equação da continuidade, temos :

$$Q = v_1 . A_1 = v_2 . A_2$$

Exercício R.2.4.2. No Venturi da figura água escoa como fluido ideal. A área na seção (1) é 20 cm^2 enquanto que a da seção (2) é 10 cm^2. Um manômetro cujo fluido manométrico é mercúrio (γ_{Hg} = 13600 kgf/m^3) é ligado entre as seções (1) e (2) e indica um desnível "h" de 10 cm. Pede-se a vazão em volume de água (γ_{H2O} = 1000 kgf/m^3)



$H_1 = H_2$ ou $$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g}$$

Como os centros geométricos das seções (1) e (2) estão na mesma altura : $z_1 = z_2$, portanto :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2.g} - \frac{v_1^2}{2.g} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2.g} \quad ①$$

Como $A_2 < A_1$ ➔ $v_2 > v_1$ (energia cinética aumenta) ➔ energia de pressão diminui ($P_2 < P_1$)

A pressão em (a) é igual a pressão em (b) : $P_a = P_b$, ou :

$$P_1 + \gamma_{H2O} . x + \gamma_{H2O} . h = P_2 + \gamma_{H2O} . x + \gamma_{Hg} . h$$

$$P_1 - P_2 = (\gamma_{Hg} - \gamma_{H2O}) . h = (13600 - 1000) . 0{,}10 = 1260 \text{ kgf/m}^2$$

Substituíndo ② em ① , temos :

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2.g} \quad \Rightarrow \quad \frac{1260}{1000} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times 9{,}8} \quad \Rightarrow \quad v_2^2 - v_1^2 = 24{,}7 \frac{m^2}{s^2} \quad ②$$

Pela equação da continuidade, temos :

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow v_1 . A_1 = v_2 . A_2 \Rightarrow v_1 = v_2 . \frac{A_2}{A_1} = v_2 . \frac{10(cm^2)}{20(cm^2)} \Rightarrow v_1 = \frac{v_2}{2} \quad ③$$

Substituíndo ③ em ② , temos :

$$v_2^2 - \left(\frac{v_2}{2}\right)^2 = 24{,}7 \quad \Rightarrow \quad v_2 = 5{,}7\, m/s$$

Portanto, a vazão em volume será :

$$Q = v_2 . A_2 = 5{,}7 \times 10 \times 10^{-4} = 5{,}7 \times 10^{-3}$$

$$\boxed{Q = 5{,}7\, l/s}$$