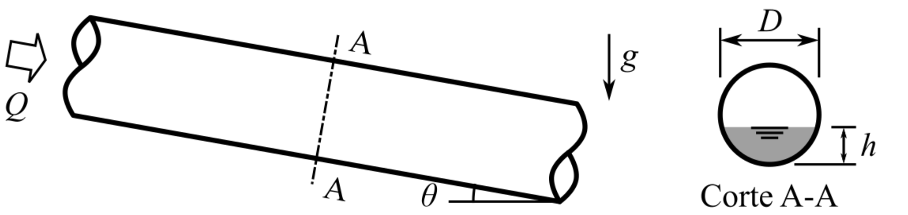
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME3238 – FENÔMENOS DE TRANSPORTE 2ª PROVA 13/05/2019

Duração: 120 minutos

<u>1ª Questão (3,0 pontos)</u>

A vazão de água, Q, em uma manilha de coleta de águas pluviais, como a ilustrada na figura, depende do diâmetro da manilha, D, da inclinação da manilha, θ, da altura da água na seção transversal, h, e da aceleração da gravidade g.

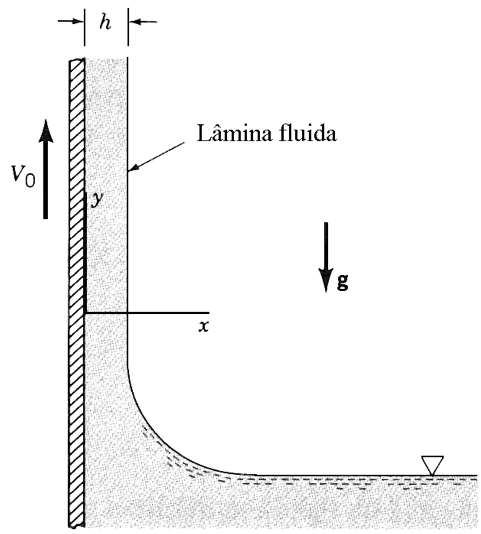


(a) Obtenha uma relação funcional adimensional entre vazão volumétrica e os outros parâmetros importantes deste escoamento. (***1,5 ponto***)

(b) Deseja-se prever a vazão em uma manilha de diâmetro $D = 2$ m, com inclinação de $\theta = 10°$ e preenchida com água até uma altura $h = 0{,}8$ m, usando um modelo 1:5. Qual deve ser a inclinação e a altura de preenchimento de água no modelo? Nessas condições, qual será a escala de vazão? (***1,5 ponto***)

<u>2ª Questão (3,5 pontos)</u>

Uma fita larga se movimenta num tanque que contém um líquido viscoso de massa específica ρ e viscosidade dinâmica μ, do modo indicado na figura. O movimento da fita é vertical e ascendente com velocidade V_0. As forças viscosas provocam o arrastamento de um filme de líquido que apresenta espessura h. Note que a aceleração da gravidade força o líquido a escoar para baixo no filme. Considerando que o escoamento seja laminar, unidimensional e aconteça em regime permanente, e sabendo que na superfície livre, admite-se que a tensão de cisalhamento é nula, pede-se:



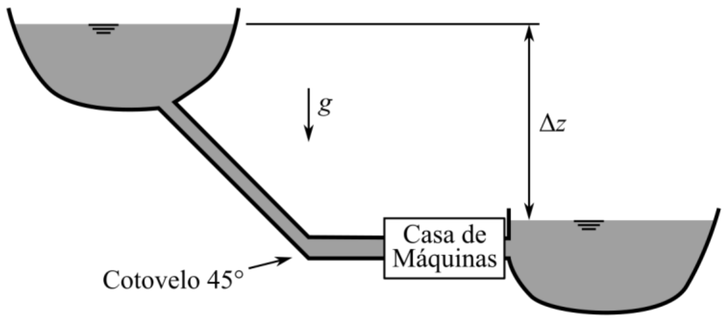
(a) Uma expressão **literal** do perfil de velocidades (parta das equações de continuidade e Navier–Stokes fornecidas no formulário e enuncie claramente as hipóteses utilizadas para simplificá-las). (***2,0 pontos***)

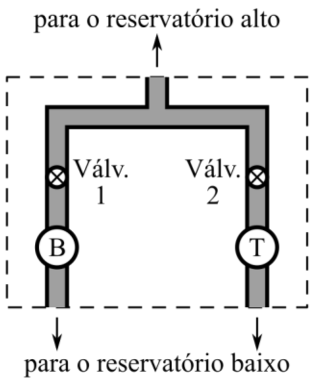
(b) A expressão da velocidade da fita, V_0, para a qual a vazão numa seção transversal do filme é nula. (***1,0 ponto***)

<u>3ª Questão (4,0 pontos)</u>

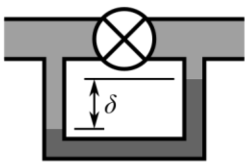
Uma solução empregada para lidar com a intermitência de fontes de energia renováveis em redes isoladas (em ilhas, por exemplo), é utilizar o excedente de energia dos períodos de abundância para bombear água de um reservatório baixo para um reservatório elevado. Nos períodos de escassez, essa água pode ser utilizada para movimentar uma turbina ao escoar do reservatório elevado de volta para o reservatório baixo, e assim gerar eletricidade. A figura a seguir mostra uma instalação desse tipo. O nível reservatório elevado está $\Delta z = 200$ m acima do nível do reservatório baixo. A tubulação é de ferro fundido ($\varepsilon = 0{,}26$ mm), tem diâmetro interno $D = 1{,}5$ m e comprimento total $L = 2{,}5$ km (igual para operações de bombeamento e geração). Os coeficientes de perda de carga localizada da tubulação são os seguintes: $K_{\text{entrada}} = 0{,}5$, $K_{\text{saída}} = 1{,}0$, $K_{\text{cotovelo }45°} = 0{,}4$, $K_{\text{cotovelo }90°} = 0{,}55$, $K_{\text{tê derivação}} = 1{,}0$, $K_{\text{válvula }1} = 0{,}15$ (totalmente aberta). Usando os dados abaixo, responda os itens a seguir.

Dados: massa específica da água, $\rho = 998\ \text{kg/m}^3$, viscosidade dinâmica da água, $\mu = 1{,}002\times10^{-3}$ Pa·s, aceleração da gravidade, $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.





Planta da Casa de Máquinas



Manômetro acoplado à válvula 2

(a) Considere uma condição de bombeamento (válvula 1 totalmente aberta e válvula 2 fechada), onde 750 kW de energia excedente são utilizados para acionar a bomba B, que apresenta rendimento de 80%. Determine a vazão no sistema. **(*2,0 pontos*)**

(b) Considere agora uma condição de geração (válvula 1 fechada e válvula 2 aberta). Para que a turbina T opere na condição de rendimento máximo, que no caso é de 85%, a vazão é regulada em 0,85 m^3/s através da válvula 2. Nessa condição, o desnível do manômetro U com mercúrio (densidade = 13,6) a ela acoplado é de δ = 55 mm. Determine a potência entregue pela turbina. **(*1,5 ponto*)**

(c) Considerando a condição de bombeamento do item (a) e de geração do item (b), determine qual o percentual de energia perdida na operação. **(*0,5 ponto*)**

Formulário geral

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\forall C}\rho \mathrm{d}\forall + \int_{SC}\rho\vec{V}_r\cdot\vec{n}\mathrm{d}A = 0 \qquad p_1 = \gamma h + p_2 \qquad \tau_{yx} = \mu\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y} \qquad \nabla\cdot\vec{V} = 0$$

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) + \rho g_x$$

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) + \rho g_y$$

$$\rho\left(\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) + \rho g_z$$

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1\bar{V}_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2\bar{V}_2^2}{2g} + z_2\right) + h_b = h_{L_T} \qquad h_L = f\,\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2g} \qquad h_m = K\frac{\bar{V}^2}{2g} \qquad h_b = \frac{\dot{W}_b}{\gamma Q}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{f}}\right) \qquad f = \frac{64}{Re}$$

$$\frac{\partial C_\mathrm{A}}{\partial t} + (\vec{V}\cdot\nabla)C_\mathrm{A} = D_\mathrm{AB}\nabla^2 C_\mathrm{A} + \dot{C}_\mathrm{A} \qquad J''_\mathrm{A} = -D_\mathrm{AB}\frac{\partial C_\mathrm{A}}{\partial x} \qquad C_\mathrm{A} = \frac{p_\mathrm{A}}{\bar{R}T} \qquad C_\mathrm{A}(x_0) = Sp_\mathrm{A}$$

Raiz real de um polinômio cúbico $x^3 + px + q = 0$: $\qquad x = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}$