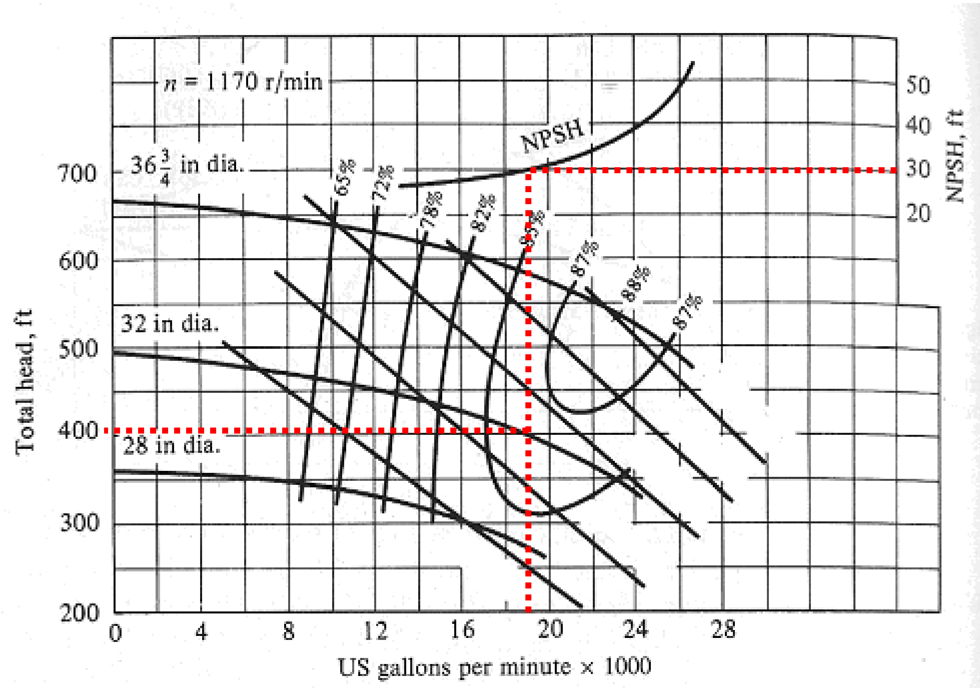
EM 561 – MECÂNICA DOS FLUIDOS II
2ª Prova - 29/06/2010
Consulta permitida ao livro-texto
Duração: 2 horas - Gerencie o seu tempo!

Turma A: Prof. Osvair V. Trevisan
Turma B: Prof. Antonio C. Bannwart

UNICAMP

NOME DO ALUNO:_______________________________RA:__________TURMA:____

As questões 1 e 2 estão baseadas nas curvas características de *H*, η e *NPSH* para as bombas apresentadas na figura abaixo (*H = total head)*. Ignore as linhas retas inclinadas. Se necessário use os fatores de conversão: 1 ft = 0,3048 m e 1 gpm = 1 gal/min = $6{,}3083\times10^{-5}$ m^3/s.



(1) *(Valor 2.0 pontos)* Considere a bomba centrífuga com rotor de 32" de diâmetro operando com água a 1170 rpm e uma vazão de 19 Kgal/min (K é kilo ou 1000x). Determinar:

a) a altura de elevação em metros e a potência de eixo em MW requerida

b) considerando que a perda por atrito na linha de sucção seja de 6,7 m e que a sucção da bomba está 2,7 m abaixo da superfície do reservatório determine se haverá ou não cavitação. Considere que o reservatório está submetido à pressão atmosférica, 101 KPa, que sua temperatura seja de 15°C e que nestas condições a pressão de vapor da água é de 1,7 KPa.

Solução:

a) Do gráfico obtém-se, para uma vazão $Q = 19000 \text{ gpm} = 1{,}2 \text{ m}^3\text{/s}$

$H = 400 \text{ ft} = 121{,}92 \text{ m} \quad \text{e} \quad \eta = 86\%$

Logo: $\dot{W}_{eixo} = \dfrac{\rho \text{QgH}}{\eta} = \dfrac{998 \times 1{,}2 \times 9{,}81 \times 121{,}92}{0{,}86} = 1{,}66 \text{ MW}$

b) Calculando o NPSHA:

$$NPSHA = \frac{p_{\text{tanque}} - p_{\text{vapor}}}{\rho \text{g}} + \left(z_{\text{tanque}} - z_{\text{tanque}}\right) - h_L = \frac{101000 - 1700}{998 \times 9{,}81} + (2{,}7) - 6{,}7 = 6{,}14 \text{ m} = 20{,}2 \text{ ft}$$

Do gráfico, temos: $NPSHR = 30 \text{ ft} > NPSHA$. Portanto, nessas condições a bomba irá cavitar.

(2) *(Valor 2.0 pontos)* Considere a bomba centrífuga com rotor de 32" de diâmetro operando com 1170 rpm instalada num sistema cuja curva de carga é dada por: H_s(ft) = 100 + 1,5Q^2 onde Q é dado em Kgal/min (K é kilo ou 1000x). Determine a vazão e a altura de elevação para as configurações: (a) uma bomba operando; (b) duas bombas idênticas em paralelo. Assuma que a curva da bomba de 32" é representada por: H_b(ft) = 500 – 0,3Q^2 onde Q é dado em Kgal/min. Não considere as perdas por atrito devido às conexões dos arranjos série e paralelo.

Solução:

a) Para uma bomba basta igualar H_s e H_b:

$$H_s = H_b \quad \Rightarrow \quad 100 + 1{,}5Q^2 = 500 - 0{,}3Q^2 \quad \therefore \quad Q = \sqrt{\frac{500 - 100}{1{,}5 + 0{,}3}} = 14{,}91 \text{ Kgpm}$$

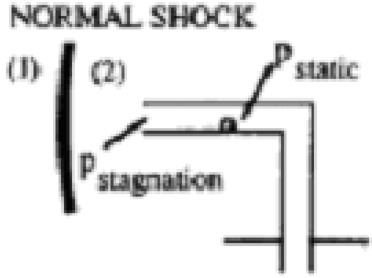
Logo: $H_s = H_b = 100 + 1{,}5 \times 14{,}91^2 = 433{,}3 \text{ ft}$

b) Para duas bombas em paralelo, a curva equivalente da bomba será:

$$H_b = 500 - 0{,}3\left(\frac{Q}{2}\right)^2 = 500 - 0{,}075Q^2$$

Logo: $100 + 1{,}5Q^2 = 500 - 0{,}075Q^2 \quad \therefore \quad Q = \sqrt{\frac{500-100}{1{,}5+0{,}075}} = 15{,}94$ Kgpm e H_b= 481,0 ft

(3) *(Valor 2.0 pontos)* Um tubo de pitot é colocado numa corrente de ar supersônica e um choque normal se forma a frente do instrumento como indicado na figura. Considere que as leituras das pressões de estagnação e estática após o choque são, respectivamente, P_{02} = 190 KPa (abs) e P_2 = 150 KPa (abs). Pede-se: (a) determinar o número de Mach antes e depois do choque, estados (1) e (2); (b) considerando que a temperatura de estagnação seja de 400 K obter a velocidade V_1 antes do choque.



Solução:

a) Após o choque o escoamento pode ser considerado isentrópico. Logo:

$$\frac{p_{02}}{p_2} = \left(1 + \frac{k-1}{2}M_2^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \Rightarrow \quad M_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1}\left[\left(\frac{p_{02}}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]} = \sqrt{\frac{2}{1{,}4-1}\left[\left(\frac{190}{150}\right)^{\frac{1{,}4-1}{1{,}4}} - 1\right]} = 0{,}591$$

Temos que:

$$M_2^2 = \frac{M_1^2 + \frac{2}{k-1}}{\frac{2k}{k-1}M_1^2 - 1} \quad \Rightarrow \quad M_1 = \sqrt{\frac{(k-1)M_2^2 + 2}{2kM_2^2 - (k-1)}} = \sqrt{\frac{(1{,}4-1)\times 0{,}591^2 + 2}{2\times 1{,}4\times 0{,}591^2 - (1{,}4-1)}} = 1{,}924$$

b) A temperatura T_1 será obtida de:

$$\frac{T_0}{T_1} = 1 + \frac{k-1}{2} M_1^2 \quad \Rightarrow \quad T_1 = \frac{T_0}{1 + \frac{k-1}{2} M_1^2} = \frac{400}{1 + \frac{1,4-1}{2} \times 1,924^2} = 229,8 \text{ K}$$

Logo:

$$V_1 = M_1 c_1 \quad \Rightarrow \quad V_1 = 1,924 \times \sqrt{1,4 \times 287 \times 229,8} = 1,924 \times 303,9 = 584,6 \text{ m/s}$$

(4) *(Valor 2.0 pontos)* Um bocal convergente-divergente operando nas condições de projeto (descarga suave para atmosfera: 101 KPa) é empregado como propulsor de um foguete e apresenta um empuxo de 4,45 10^6 N. Considere que a pressão e temperatura de estagnação são de 4,2 MPa (abs) & 2200 K e que os gases de combustão tenham as mesmas propriedades do ar: R = 287 J/kgK e k = 1,4. Determine o número de Mach e a área na saída do bocal.

Solução:

a) Da condição de projeto temos:

$$\frac{p_0}{p_{saída}} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M_{saída}^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \Rightarrow \quad M_{saída} = \sqrt{\frac{2}{1,4-1}\left[\left(\frac{4200}{101}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} - 1\right]} = 3,083$$

Além disso, a temperatura de saída será:

$$\frac{T_0}{T_{saída}} = 1 + \frac{k-1}{2} M_{saída}^2 \quad \Rightarrow \quad T_{saída} = \frac{2200}{1 + \frac{1,4-1}{2} \times 3,083^2} = 758,4 \text{ K}$$

e a massa específica na saída será: $\rho_{saída} = \dfrac{101000}{287 \times 758,4} = 0,4640 \text{ kg/m}^3$

b) A velocidade na saída será:

$$V_{saída} = M_{saída} c_{saída} \quad \Rightarrow \quad V_{saída} = 3,083 \times \sqrt{1,4 \times 287 \times 758,4} = 3,083 \times 552,0 = 1701,8 \text{ m/s}$$

Portanto, a área de saída será: $A_{saída} = \dfrac{F_{empuxo}}{\rho_{saída} V_{saída}^2} = \dfrac{4,45 \times 10^6}{0,4640 \times 1701,8^2} = 3,311 \text{ m}^2$

(5) *(Valor 2.0 pontos)* Gás natural (massa molar M_m = 18 e k =1,3) deve ser bombeado através de um gasoduto de diâmetro interno 32" (polegadas), que liga duas estações de compressão. Na seção a montante (1) a pressão é de 10 MPa (abs), enquanto que na seção a jusante (2) a pressão é 0,2 MPa (abs.), a temperatura é 25 °C e o número de Mach é unitário. Determine:

a) a temperatura e a velocidade na seção a montante;

b) o comprimento do gasoduto.

Considere o gasoduto adiabático e o fator de atrito 0,011.

Solução:

a) Usando as propriedades do gás: $R = \dfrac{8314}{18} = 461{,}9\ \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}$; $k = 1{,}3$; $c_p = 2001{,}5\ \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}$

tem-se:

$$V_2 = c_2 = \sqrt{1{,}3 \times 461{,}9 \times 298} = 423{,}1 \text{ m/s} \quad ; \quad \rho_2 = \frac{200000}{461{,}9 \times 298} = 1{,}452 \text{ kg/m}^3$$

Então pelas equações de conservação da massa e da energia temos:

$$\begin{cases} \rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \quad \Rightarrow \quad \dfrac{10 \times 10^6}{461{,}9 \times T_1} V_1 = 1{,}452 \times 423{,}1 \quad \Rightarrow \quad V_1 = 0{,}02838\, T_1 \\ c_p T_1 + \dfrac{V_1^2}{2} = c_p T_2 + \dfrac{V_2^2}{2} \quad \Rightarrow \quad 2001{,}5 T_1 + \dfrac{V_1^2}{2} = 2001{,}5 \times 298 + \dfrac{423{,}1^2}{2} \end{cases}$$

Resolvendo obtém-se: $0{,}0004027 T_1^2 + 2001{,}5 T_1 - 686254 = 0 \quad \Rightarrow \quad T_1 = 342{,}8 \text{ K}$

Portanto: $V_1 = 0{,}02838 \times 342{,}8 = 9{,}72 \text{ m/s}$

b) A velocidade do som na estação a montante será:

$$c_1 = \sqrt{1{,}3 \times 461{,}9 \times 342{,}8} = 453{,}7 \text{ m/s} \quad \therefore \quad M_1 = \frac{9{,}72}{453{,}7} = 0{,}02144$$

Então: $\dfrac{1 - 0{,}02144^2}{1{,}3 \times 0{,}02144^2} + \dfrac{1{,}3 + 1}{2 \times 1{,}3} \ln\left[\dfrac{(1{,}3 + 1) \times 0{,}02144^2}{2 \times \left(1 + \dfrac{1{,}3 - 1}{2} \times 0{,}02144^2\right)} \right] = 1666 = \dfrac{0{,}011 \times L}{32 \times 0{,}0254}$

que fornece: $L = 123 \text{ km}$