# Sistemas de Bombeamento

## Lista de Exercícios - Cavitação

# EXERCÍCIOS DE CAVITAÇÃO

[1] Um fabricante fornece um NPSH da bomba igual a 6,1m. Água é bombeada desde um reservatório com uma vazão de 2556m$^3$/h. O nível do reservatório de aspiração esta a 1,83m abaixo da bomba. A pressão atmosférica é igual a 101,32kPa a temperatura da água é de 4°C. Se a perda de carga total na aspiração é igual a 1,22m, verifique se a bomba entra em cavitação nas condições acima.

**Resp.: Não ocorre cavitação.**

[2] Uma bomba apresenta um fator de Thoma igual a 0,10 bombeando água a uma altura manométrica de 137,2m. A pressão barométrica é igual a 99,25kPa e a pressão de vapor é igual a 4,13kPa. Considere que a perda de carga na aspiração é de 1,83m. Determine a altura de aspiração máxima permitida para não ocorrer cavitação.

**Resp.: $h_{aMax}$ = -5,86m.**

[3] Uma bomba trabalha com água a 60°C com uma vazão de 30 m$^3$/min e uma altura manométrica igual a 76m. A pressão barométrica é igual a 95kPa. Determine a leitura do instrumento (vacuômetro ou manômetro) na entrada da bomba quando a cavitação inicia. Considere o diâmetro da tubulação igual a 650mm. Utilize um fator de Thoma igual a 0,085.

**Resp.: $p_{1vac}$ = 13,836kPa.**

[4] No projeto de uma bomba se tem os seguintes parâmetros: Pressão atmosférica igual a 0,97bar, pressão de vapor igual a 0,017bar. Perda de carga na tubulação de aspiração 0,25m, vazão máxima 400l/s e rotação igual a 1450 rpm. Determinar o NPSH requerido pela bomba e a altura máxima de aspiração para não ocorrer cavitação. Considere a velocidade específica de aspiração igual a 157 rpm.

**Resp.: $h_{aMax}$ = -0,946m.**

[5] Determinar o diâmetro mínimo para que não ocorra cavitação numa tubulação de aspiração de uma bomba com NPSH igual a 2,0m. A bomba trabalha com água a 75°C. A tubulação apresenta um comprimento equivalente igual a 85m incluindo a perda de carga dos acessórios. O fator de atrito da tubulação é igual a 0,056. O nível do líquido no reservatório de aspiração (aberto à atmosfera) está 2,5m abaixo do eixo da bomba. A vazão é igual a 45m$^3$/h.

**Resp.: $D_{min}$ = 124mm.**

[6] Água a 38°C ($\rho = 993{,}15 kg/m^3$ e $p_{vap} = 6{,}5 kPa$) é bombeada a uma altura manométrica de 43,3m num local com pressão barométrica igual a 98,60kPa. Na entrada da bomba a pressão indicada pelo vacuômetro é igual a 381mmHg e a velocidade igual a 4,0m/s. Determine o NPSH disponível pelo sistema e o fator de Thoma quando ocorre cavitação. Obs.: Densidade do mercúrio 13,6.

**Resp.: $NPSH_{disp}$ = 5,05m; σ = 0,117.**

[7] Uma bomba deve alimentar 30m$^3$/h de água a 25ºC ($\rho = 997{,}10 kg/m^3$ e $p_{vap} = 3{,}17 kPa$) para um reservatório aberto para a atmosfera ($p_{atm} = 101{,}32 kPa$), situado 9,5m acima do eixo da bomba, a partir de um reservatório de aspiração, também aberto para a atmosfera e situado a 2,0m abaixo do eixo da bomba. A tubulação de aspiração é de aço carbono com costura de diâmetro D=60mm e comprimento de 10m. A tubulação

de recalque também é de aço com diâmetro D=50mm e com comprimento de tubulação de 16m. A perda de carga na tubulação de aspiração é igual a 3,0m e a perda de carga no recalque igual a 10,0m. Determinar o NPSH disponível e o NPSH requerido pela bomba considerando que sua rotação especifica característica é igual a 30 rpm.

**Resp.: $NPSH_{disp}$ = 5,04m; $NPSH_{req}$ = 2,52m.**

[8] Uma bomba projetada para trabalhar a 27l/s e 3000 rpm encontra-se trabalhando no seu ponto de projeto aspirando água a 15°C ( $\rho = 999{,}10 kg/m^3$ e $p_{vap} = 1{,}707 kPa$ ) de uma reservatório a pressão atmosférica igual a 98,1kPa. O instrumento na admissão da bomba acusa uma pressão manométrica de -9,81kPa e o manômetro na descarga 29,43kPa. A bomba tem seu eixo situado a 0,7m acima do nível do liquido do reservatório de aspiração. Considere desprezível a energia cinética pela velocidade na entrada da bomba. Verifique se há bomba entra em cavitação.

**Resp.: Não ocorre cavitação.**

[9] Uma bomba com água com T=10°C ( $\rho = 1000 kg/m^3$ e $p_{vap} = 1{,}227 kPa$ ) com reservatórios abertos ( $p_{atm} = 98{,}1 kPa$ ) e rotação de 3500 rpm. A leitura do manômetro é igual a 360kPa e a leitura do vacuômetro igual a -40kPa. A velocidade na aspiração da bomba é igual a 4,0m/s e vazão de 8,0l/s. A altura estática de aspiração á igual a 1,0m e o torque no eixo da bomba e igual a 14Nm. Obs. Os manômetros encontram-se nivelados e em pontos onde a tubulação apresenta igual diâmetro. Determinar o NPSH disponível pelo sistema e NPSH requerido pela bomba, verificando se a bomba entra em cavitação. Calcule também o rendimento global da bomba e a perda de carga na tubulação de aspiração.

**Resp.: $NPSH_{disp}$ = 6,62m; $NPSH_{req}$ = 2,34m; Não ocorre cavitação; $\eta$ = 62,3%; $h_{La}$ = 2,26m.**

[10] Uma bomba de 7 estágios trabalha nas condições de projeto com uma vazão de 702m$^3$/h e altura manométrica igual a 210m e rotação de 1185 rpm. Água a 80ºC ( $\rho = 972 kg/m^3$ e $p_{vap} = 47{,}35 kPa$ ) é aspirada num reservatório a pressão atmosférica e a nível do mar ( $p_{atm} = 101{,}32 kPa$ ). A velocidade na tubulação de aspiração igual a 4,0m/s sendo a perda de carga na tubulação igual a 1,35m. Determinar a altura de aspiração limite para que não ocorra cavitação. Trata-se de um sistema normal ou com bomba afogada?

**Resp.: $h_{aMax}$ = -0,34m; Bomba afogada.**

[1] Um fabricante fornece um NPSH da bomba igual a 6,1m. Água é bombeada desde um reservatório com uma vazão de 2556m$^3$/h. O nível do reservatório de aspiração esta a 1,83m abaixo da bomba. A pressão atmosférica é igual a 101,32kPa a temperatura da água é de 4°C. Se a perda de carga total na aspiração é igual a 1,22m, verifique se a bomba entra em cavitação nas condições acima.

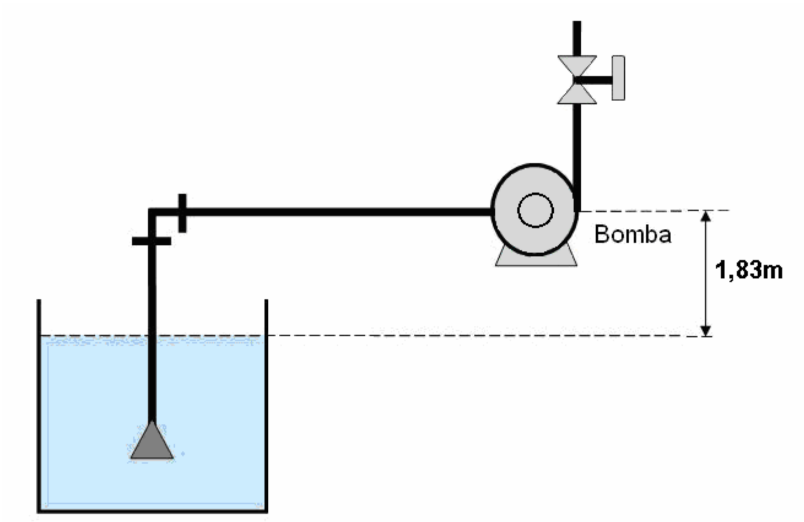
Dados:

$$NPSH_{req} = 6{,}1m$$
$$Q = 2556m^3/h$$
$$h_a = 1{,}83m$$
$$p_{atm} = 101{,}32kPa$$
$$h_{La} = 1{,}22m$$

$NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ ou $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ ?

Para a temperatura de 4°C:

$$\rho = 999{,}5kg/m^3$$
$$p_{vap} = 0{,}886kPa$$
$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{101{,}32x1000}{999{,}5x9{,}81} = 10{,}33m$$
$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{0{,}886x1000}{999{,}5x9{,}81} = 0{,}09m$$




Para não ocorrer cavitação $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$

Como o reservatório esta por baixo da bomba:

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

$$NPSH_{Disp} = 10{,}33 - 1{,}83 - 1{,}22 - 0{,}09$$

$$NPSH_{Disp} = 7{,}19m$$

Como $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ não ocorrerá cavitação.

[2] Uma bomba apresenta um fator de Thoma igual a 0,10 bombeando água a uma altura manométrica de 137,2m. A pressão barométrica é igual a 99,25kPa e a pressão de vapor é igual a 4,13kPa. Considere que a perda de carga na aspiração é de 1,83m. Determine a altura de aspiração máxima permitida para não ocorrer cavitação.

Dados:

$$\sigma = 0{,}10$$
$$H_{man} = 137{,}2m$$
$$h_{La} = 1{,}83m$$
$$h_{aMax} = ?$$

$$p_{atm} = 99{,}25kPa$$
$$p_{vap} = 4{,}13kPa$$

$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{99{,}25x1000}{1000x9{,}81} = 10{,}11m$$

$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{4{,}13x1000}{1000x9{,}81} = 0{,}421m$$

$$NPSH_{Req} = \sigma H_{man}$$

Considerando uma bomba em condições normais de operação com reservatório de aspiração por baixo da bomba:

$$h_a < H_{atm} - (h_{La} + h_{vap} + NPSH_{req})$$

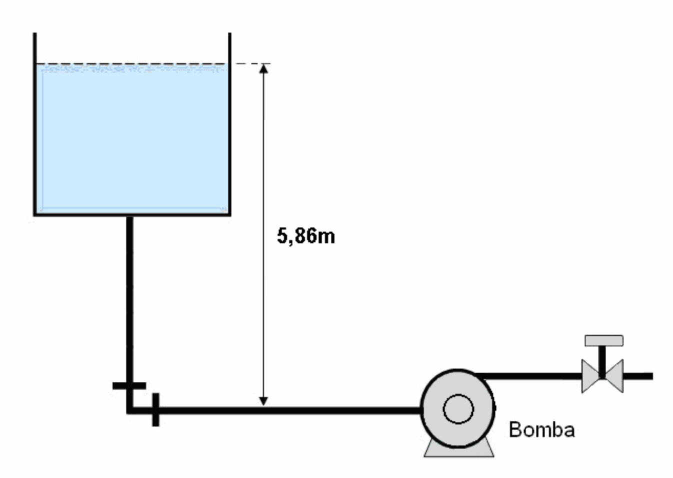
$$h_a < 10{,}11 - (1{,}83 + 0{,}421 + 0{,}1x137{,}16)$$

$$h_a < 10{,}11 - 15{,}97$$

$$h_a < -5{,}86m$$

Como o resultado é um valor negativo, implica que a bomba deve ser instalada afogada, isto é, com o reservatório de aspiração por cima da bomba.

A superfície livre do reservatório de aspiração deve estar a mais que 5,86m por cima da bomba.



[3] Uma bomba trabalha com água a 60°C com uma vazão de 30 $m^3$/min e uma altura manométrica igual a 76m. A pressão barométrica é igual a 95kPa. Determine a leitura do instrumento na entrada da bomba quando a cavitação inicia. Considere o diâmetro da tubulação igual a 650mm. Utilize um fator de Thoma igual a 0,085.

Dados:

$$H_{man} = 76m$$
$$Q = 30m^3 / \min$$
$$D = 650mm$$
$$\sigma = 0{,}085$$
$$p_1 = ?$$

Para a temperatura de $60^0$C:

$$\rho = 983{,}2kg / m^3$$
$$p_{atm} = 95kPa$$
$$p_{vap} = 20kPa$$

$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{95x1000}{983{,}2x9{,}81} = 9{,}85m$$

$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{20x1000}{983{,}2x9{,}81} = 2{,}07m$$

O NPSH disponível e dado por:

$$NPSH_{Disp} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_{vap}$$

$$p_1 = \rho g\left( NPSH_{Disp} - \frac{V_1^2}{2g} + h_{vap} \right)$$

Com Q e D determina-se a velocidade média:

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{30}{60} x \frac{4}{0{,}65^2 x \pi} = 1{,}5m / s$$

Quando inicia a cavitação $NPSH_{Disp} = NPSH_{\mathrm{Re}q}$ .

$$p_1 = 983{,}2x9{,}81\left( 0{,}085x76 - \frac{1{,}5^2}{2g} + 2{,}07 \right)$$

$$p_1 = 983{,}2x9{,}81(6{,}46 - 0{,}115 + 2{,}07)$$

$$p_1 = 983{,}2x9{,}81(8{,}415)$$

$p_1 = 81{,}164kPa$ Pressão absoluta.

$$p_{1Vac} = 95 - 81{,}07 = 13{,}836kPa$$

Como a pressão e baixo a pressão atmosférica $p_{Vac} < p_{Atm}$, implica que a pressão deve ser medida por um vacuômetro.

[4] No projeto de uma bomba se tem os seguintes parâmetros: Pressão atmosférica igual a 0,97 bar, pressão de vapor igual a 0,017 bar. Perda de carga na tubulação de aspiração 0,25m, vazão máxima 400l/s e rotação igual a 1450 rpm. Determinar o NPSH requerido pela bomba e a altura máxima de aspiração para não ocorrer cavitação. Considere a velocidade específica de aspiração igual a 157 rpm.

Dados:

$$p_{atm} = 0{,}95 Bar \equiv 10m$$
$$p_{vap} = 0{,}017 Bar \equiv 0{,}176m$$

$$h_{La} = 0{,}25m$$
$$Q = 400 l/s$$
$$n = 1450 rpm$$
$$S = 157 rpm$$
$$NPSH_{\mathrm{Re}q} = ?$$
$$h_{aMax} = ?$$

Como não e conhecida a informação da bomba:

$$S = \frac{n\sqrt{Q}}{(NPSH_{\mathrm{Re}q})^{3/4}}$$

$$\frac{n\sqrt{Q}}{(NPSH_{\mathrm{Re}q})^{3/4}} > 157$$

$$NPSH_{\mathrm{Re}q} \leq \left(\frac{n\sqrt{Q}}{157}\right)^{4/3}$$

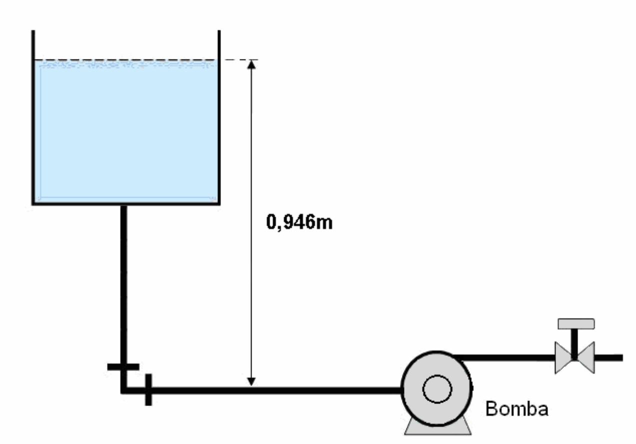
$$NPSH_{\mathrm{Re}q} \leq \left(\frac{1450\sqrt{400/1000}}{157}\right)^{4/3} \leq 10{,}52m$$

Escolhemos: $NPSH_{\mathrm{Re}q} = 10m$

$$h_a < H_{atm} - (h_{La} + h_{vap} + NPSH_{req})$$

$$h_a = 10 - (0{,}25 + 0{,}176 + 10{,}52)$$

$$h_a \leq -0{,}946m \quad \text{(Afogada)}$$




Como o resultado é um valor negativo, implica que a bomba deve ser instalada afogada, isto é, com o reservatório de aspiração por cima da bomba.

A superfície livre do reservatório de aspiração deve estar a mais que 0,946m por cima da bomba.

[5] Determinar o diâmetro mínimo para que não ocorra cavitação numa tubulação de aspiração de uma bomba com NPSH igual a 2,0m. A bomba trabalha com água a 75°C. A tubulação apresenta um comprimento equivalente igual a 85m incluindo a perda de carga dos acessórios. O fator de atrito da tubulação é igual a 0,056. O nível do líquido no reservatório de aspiração (aberto à atmosfera) está 2,5m abaixo do eixo da bomba. A vazão é igual a 45m³/h.

Dados:

$$NPSH_{Req} = 2{,}0m$$
$$L_{eq} = 85m$$
$$h_a = 2{,}5m$$
$$Q = 45m^3/h$$
$$D_{min} = ?$$

Para a temperatura de 75°C:

$$\rho = 974{,}9kg/m^3$$
$$p_{atm} = 101{,}32kPa$$
$$p_{vap} = 38{,}563kPa$$

$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{101{,}32x1000}{974{,}9x9{,}81} = 10{,}59m$$

$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{(38{,}563)x1000}{974{,}9x9{,}81} = 4{,}03m$$

$$h_{La} = f\frac{L_{eq}}{D}\frac{V^2}{2g}$$
$$h_a < H_{atm} - \left(h_{La} + h_{vap} + NPSH_{req}\right)$$

Utilizando o limite em que $NPSH_{Disp} = NPSH_{Req}$:

$$h_{La} < H_{atm} - \left(h_a + h_{vap} + NPSH_{Disp}\right)$$

$$h_{La} < 10{,}59 - \left(2{,}5 + 4{,}03 + 2{,}0\right)$$

$$h_{La} < 2{,}06m$$

Igualando com a definição de perda de carga:

$$h_{La} = f\frac{L_{eq}}{D}\frac{V^2}{2g} = f\frac{L_{eq}}{D}\frac{Q^2}{2gA^2} = f\frac{L_{eq}}{D^5}\frac{16Q^2}{2g\pi^2}$$
$$h_{La} = f\frac{L_{eq}}{D^5}\frac{16Q^2}{2g\pi^2}$$

$$D_{min} = \left(f\frac{L_{eq}}{h_{La}}\frac{16Q^2}{2g\pi^2}\right)^{1/5} = \left(0{,}056\frac{85}{2{,}06}\frac{16(0{,}0125)^2}{2x9{,}81\pi^2}\right)^{1/5} = 124mm$$

[6] Água a 38°C ( $\rho = 993{,}15 kg/m^3$ e $p_{vap} = 6{,}5kPa$ ) é bombeada a uma altura manométrica de 43,3m num local com pressão barométrica igual a 98,60kPa. Na entrada da bomba a pressão indicada pelo vacuômetro é igual a 381mmHg e a velocidade igual a 4,0m/s. Determine o NPSH disponível pelo sistema e o fator de Thoma quando ocorre cavitação. Obs.: Densidade do mercúrio 13,6.

Dados:

$$H_{man} = 43{,}3m$$
$$H_{1vac} = 381mmHg$$
$$d_{merc} = 13{,}6$$
$$V_a = 4{,}0m/s$$
$$NPSH_{disp} = ?$$
$$\sigma = ?$$

$$p_{1vac} = \frac{381x13{,}6x1000x9{,}81}{1000} = 50{,}83kPa$$
$$p_{1Abs} = 98{,}60 - 50{,}83 = 47{,}77kPa$$

Para a temperatura de 38°C:

$$\rho = 993{,}15kg/m^3$$
$$p_{atm} = 98{,}60kPa$$
$$p_{vap} = 6{,}5kPa$$

$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{98{,}60x1000}{993{,}15x9{,}81} = 10{,}12m$$

$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{6{,}5x1000}{993{,}15x9{,}81} = 0{,}67m$$

Como o reservatório esta por baixo da bomba:

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

Também podemos utilizar a equação:

$$NPSH_{Disp} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_{vap}$$

$$NPSH_{Disp} = \frac{47{,}77x1000}{993{,}15x9{,}81} + \frac{4{,}0^2}{2x9{,}81} - 0{,}67$$

$$NPSH_{Disp} = 4{,}9 + 0{,}815 - 0{,}67 = 5{,}05m$$

O fator de Thoma é determinado pela expressão:

$$NPSH_{Req} = \sigma H_{man}$$

Quando ocorre cavitação: $NPSH_{Req} = NPSH_{Disp} = 5{,}05m$

$$\sigma = \frac{NPSH_{Req}}{H_{man}} = \frac{5{,}05}{43{,}3} = 0{,}117$$

[7] Uma bomba deve alimentar 30m$^3$/h de água a 25$^{\circ}$C ( $\rho = 997{,}10 kg/m^3$ e $p_{vap} = 3{,}17 kPa$ ) para um reservatório aberto para a atmosfera ( $p_{atm} = 101{,}32 kPa$ ), situado 9,5m acima do eixo da bomba, a partir de um reservatório de aspiração, também aberto para a atmosfera e situado a 2,0m abaixo do eixo da bomba. A tubulação de aspiração é de aço carbono com costura de diâmetro D=60mm e comprimento de 10m. A tubulação de recalque também é de aço com diâmetro D=50mm e com comprimento de tubulação de 16m. A perda de carga na tubulação de aspiração é igual a 3,0m e a perda de carga no recalque igual a 10,0m. Determinar o NPSH disponível e o NPSH requerido pela bomba considerando que sua rotação especifica característica é igual a 30 rpm.

Dados:

$$Q = 30 m^3/h$$
$$h_r = 9{,}5 m$$
$$h_a = 2{,}0 m$$
$$D_a = 60 mm$$
$$L_a = 10 m$$
$$D_r = 50 mm$$
$$L_r = 16 m$$
$$h_{La} = 3{,}0 m$$
$$h_{Lr} = 10 m$$
$$n_q = 30 rpm$$
$$\eta_G = 65\%$$
$$NPSH_{disp} = ?$$
$$NPSH_{req} = ?$$

Para a temperatura de 25$^{\circ}$C:

$$\rho = 997{,}10 kg/m^3$$
$$p_{atm} = 1 atm$$
$$p_{vap} = 3{,}17 kPa$$

$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{101{,}32 x 1000}{997{,}10 x 9{,}81} = 10{,}36 m$$

$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{3{,}17 x 1000}{997{,}10 x 9{,}81} = 0{,}32 m$$

$$H_{man} = h_r + h_a + h_{La} + h_{Lr} = 9{,}5 + 2 + 3{,}0 + 10 = 24{,}5 m$$

$$NPSH_{\mathrm{Re}q} = \sigma H_{man}$$

$$\sigma = 0{,}0011 (n_q)^{4/3} = 0{,}0011 (30)^{4/3} = 0{,}103$$

$$NPSH_{\mathrm{Re}q} = 0{,}103 x 24{,}5 = 2{,}52 m$$

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

$$NPSH_{Disp} = 10{,}36 - 2{,}0 - 3{,}0 - 0{,}32 = 5{,}04 m$$

Como o $NPSH_{Disp}$ é maior que o $NPSH_{\mathrm{Re}q}$ não ocorrerá cavitação.

[8] Uma bomba projetada para trabalhar a 27l/s e 3000 rpm encontra-se trabalhando no seu ponto de projeto aspirando água a 15°C ( $\rho = 999{,}10 kg/m^3$ e $p_{vap} = 1{,}707 kPa$ ) de uma reservatório a pressão atmosférica igual a 98,1kPa. O instrumento na admissão da bomba acusa uma pressão manométrica de -9,81kPa e o manômetro na descarga 29,43kPa. A bomba tem seu eixo situado a 0,7m acima do nível do liquido do reservatório de aspiração. Considere desprezível a energia cinética pela velocidade na entrada da bomba. Verifique se há bomba entra em cavitação.

Dados:

$$Q = 27 l/s$$
$$n = 3000 rpm$$
$$p_{1Man} = -9{,}81 kPa$$
$$p_{2Man} = 29{,}43$$
$$h_a = 0{,}7 m$$
$$NPSH_{Disp} > NPSH_{Req} \text{ ou } NPSH_{Disp} > NPSH_{Req} ?$$

Para a temperatura de 15°C:

$$\rho = 999{,}10 kg/m^3$$
$$p_{vap} = 1{,}707 kPa$$
$$p_{atm} = 98{,}1 kPa$$
$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{98{,}1x1000}{9{,}81x999{,}1} = 10m$$
$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{(1{,}707)x1000}{9{,}81x999{,}1} = 0{,}174m$$

$$H_{man} = \frac{p_{2Man} - p_{1Man}}{\rho g} = \frac{(29{,}43 + 9{,}81)x1000}{999{,}1x9{,}81} = 4{,}0m$$

$$n_q = n\frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{3000\sqrt{27/1000}}{(4{,}0)^{3/4}} = 174 rpm \text{ (Bomba axial)} \qquad \sigma = 0{,}0011(n_q)^{4/3} = 0{,}0011(174)^{4/3} = 1{,}07$$

$$NPSH_{Req} = \sigma H_{man} = 1{,}07x4{,}0 = 4{,}28m$$

$$NPSH_{Disp} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_{vap}$$

$$NPSH_{Disp} = \frac{(98{,}1 - 9{,}81)x1000}{999{,}1x9{,}81} + 0 - 0{,}174 = 9{,}0 - 0{,}174 = 8{,}83m$$

Como $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ não existe risco de cavitação.

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

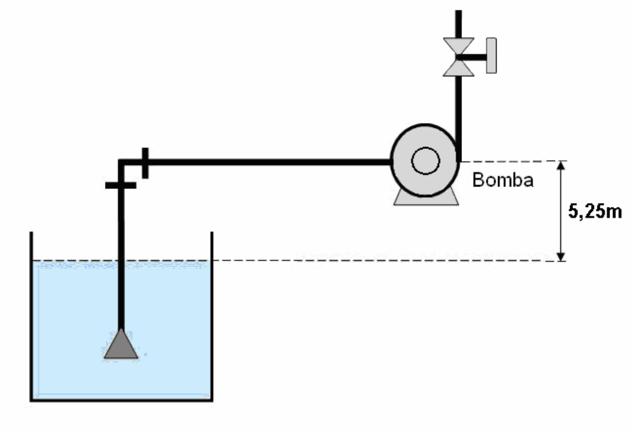
$$h_{La} = H_{atm} - h_a - NPSH_{Disp} - h_{vap}$$

$$h_{La} = 10 - 0{,}7 - 8{,}83 - 0{,}174 = 0{,}3m$$

$$h_a < H_{atm} - (h_{La} + h_{vap} + NPSH_{req})$$

$$h_a < 10 - (0{,}3 + 0{,}174 + 4{,}28)$$

$$h_{max} = 5{,}25m$$



[9] Uma bomba com água com T=10°C ( $\rho = 1000 kg/m^3$ e $p_{vap} = 1{,}227 kPa$) com reservatórios abertos ( $p_{atm} = 98{,}1 kPa$) e rotação de 3500 rpm. A leitura do manômetro é igual a 360kPa e a leitura do vacuômetro igual a -40 kPa. A velocidade na aspiração da bomba é igual a 4,0m/s e vazão de 8,0l/s. A altura estática de aspiração á igual a 1,0m e o torque no eixo da bomba e igual a 14Nm. Obs. Os manômetros encontram-se nivelados e em pontos onde a tubulação apresenta igual diâmetro. Determinar o NPSH disponível pelo sistema e NPSH requerido pela bomba, verificando se a bomba entra em cavitação. Calcule também o rendimento global da bomba e a perda de carga na tubulação de aspiração.

Dados:

$$n = 3500 rpm$$
$$p_{atm} = 98{,}1 kPa$$
$$p_{1Man} = p_{1Vac} = -40 kPa$$
$$p_{2Man} = 360 kPa$$
$$V_1 = 4{,}0 m/s$$
$$Q = 8{,}0 l/s$$
$$h_a = 1{,}0 m$$
$$T = 14 Nm$$
$$NPSH_{disp} \ldots e \ldots NPSH_{req}\ ?$$
$$\eta_g\ ?$$
$$h_{La} = ?$$

Para a temperatura de 10ºC:

$$\rho = 1000 kg/m^3$$
$$p_{vap} = 1{,}227 kPa$$
$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{98{,}1x1000}{1000x9{,}81} = 10m$$
$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{(1{,}227)x1000}{1000x9{,}81} = 0{,}125m$$

$$H_{man} = \frac{p_{2Man} - p_{1Vac}}{\rho g} = \frac{(360+40)x1000}{1000x9{,}81} = 40{,}77m$$

$$n_q = n\frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{3500\sqrt{8{,}0/1000}}{(40{,}77)^{3/4}} = 19{,}4 rpm \qquad \sigma = 0{,}0011(n_q)^{4/3} = 0{,}0011(19{,}4)^{4/3} = 0{,}0573$$

$$NPSH_{Req} = \sigma H_{man} = 0{,}0573x40{,}77 = 2{,}34m$$

$$NPSH_{Disp} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_{vap} = \frac{(98{,}1-40)x1000}{1000x9{,}81} + \frac{4^2}{2x9{,}81} - 0{,}174 = 5{,}92 + 0{,}82 - 0{,}125 = 6{,}62m$$

Como $NPSH_{Disp} > NPSH_{Req}$ não existe risco de cavitação.

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

$$h_{La} = H_{atm} - h_a - NPSH_{Disp} - h_{vap} = 10 - 1{,}0 - 6{,}62 - 0{,}125 = 2{,}26m$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi 3500}{30} = 366{,}52 rad/s$$

$$\dot{W} = \frac{\rho g H_{Man} Q}{\eta_G} \qquad \eta_G = \frac{\rho g H_{Man} Q}{\dot{W}} = \frac{\rho g H_{Man} Q}{\omega T} = \frac{1000x9{,}81x40{,}77x0{,}008}{366{,}52x14} = 62{,}3\%$$

[10] Uma bomba de 7 estágios trabalha nas condições de projeto com uma vazão de 702 $m^3$/h e altura manométrica igual a 210m e rotação de 1185 rpm. Água a 80°C (ρ = 972kg/$m^3$ e $P_{vap}$ = 47,35kPa) é aspirada num reservatório a pressão atmosférica e a nível do mar ($P_{atm}$=101,32kPa). A velocidade na tubulação de aspiração igual a 4,0m/s sendo a perda de carga na tubulação igual a 1,35m. Determinar a altura de aspiração limite para que não ocorra cavitação. Trata-se de um sistema normal ou com bomba afogada?

$$n^o\ estágios = 7$$
$$n = 1185 rpm$$
$$H_{Man} = 210m$$
$$V_1 = 4{,}0 m/s$$
$$Q = 702 m^3/h$$
$$h_{La} = 1{,}35m$$
$$h_{aMax}\ ?$$

Para a temperatura de 80ºC:

$$\rho = 972 kg/m^3$$
$$p_{vap} = 47{,}35 kPa$$
$$H_{atm} = \frac{p_{atm}}{\rho g} = \frac{101{,}32 x 1000}{972 x 9{,}81} = 10{,}63m$$
$$h_{vap} = \frac{p_{vap}}{\rho g} = \frac{(47{,}35) x 1000}{972 x 9{,}81} = 4{,}97m$$

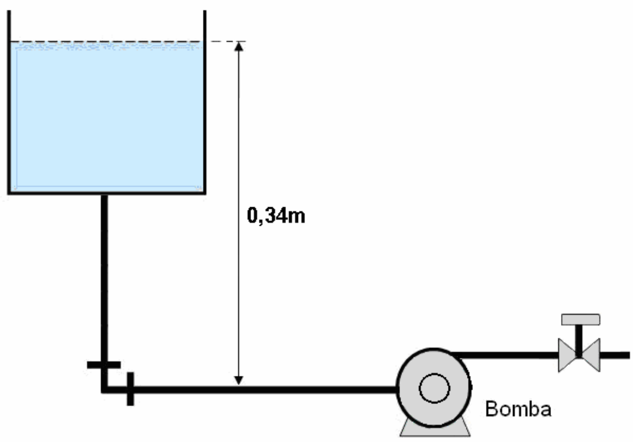
$$n_q = n\frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{1185\sqrt{702/3600}}{(210/7)^{3/4}} = 40{,}82 rpm$$

$$\sigma = 0{,}0011(n_q)^{4/3} = 0{,}0011(40{,}82)^{4/3} = 0{,}155$$

$$NPSH_{Req} = \sigma H_{man} = 0{,}155 x \frac{210}{7} = 4{,}65m$$

$$h_a < H_{atm} - (h_{La} + h_{vap} + NPSH_{req})$$

$$h_a < 10{,}63 - (1{,}35 + 4{,}97 + 4{,}65) = -0{,}34m$$




Conclui-se: Bomba afogada.

Para que a bomba não entre em cavitação escolhemos $h_a$ = -0,8m.

$$NPSH_{Disp} = H_{atm} - h_a - h_{La} - h_{vap}$$

$$NPSH_{Disp} = 10{,}63 - (-0{,}8) - 1{,}35 - 4{,}97 = 5{,}11$$

$$NPSH_{Disp} = \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} - h_{vap}$$

$$p_{1Abs} = \rho g\left(NPSH_{Disp} - \frac{V_1^2}{2g} + h_{vap}\right) = 972 x 9{,}81\left(5{,}11 - \frac{4^2}{2 x 9{,}81} + 4{,}97\right) = 88{,}34 kPa$$