

Gabarito da P1 de ME5330 – turma A

1ª Questão:

Dados: vazão desejada de 45 L/s e tubulação após a bomba de aço 40S (K = 0,02 mm) velocidade econômica aproximadamente igual a 2,5 m/s, a partir do mesmo, temos:

$$Q = v \times A \Rightarrow \frac{45}{1000} = 2,5 \times \frac{\pi \times D_{ref}^2}{4} \therefore D_{ref} = \sqrt{\frac{45 \times 10^{-3} \times 4}{2,5 \times \pi}} \times 10^3$$

$$D_{ref} \cong 151,4\text{mm} \rightarrow (0,5)$$

Diâmetro nominal (pol) - Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm) (0,25)	Área da seção livre (cm ²) (0,25)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
6 depois da bomba	10S	3,40	161,4	204,5	17,6	0,535	13,82	20,45	599,37	71,30	5,83
	Std, 40, 40S	7,11	154,0	186,4	36,0		28,23	18,64	1171,3	139,32	5,70
	XS, 80, 80S	10,97	146,3	168,2	54,2		42,51	16,82	1685,7	200,45	5,58
	120	14,3	139,7	153,4	69,0		54,15	15,34	2064,5	245,52	5,47
	160	18,2	131,8	136,4	86,0		67,41	13,64	2455,8	291,91	5,34
168	XXS	21,9	124,4	121,5	100,9	79,10	12,15	2759,6	328,29	5,23	

Dref 151,4

8 antes da bomba	10S	3,76	211,5	351,6	25,4	0,692	19,93	35,16	1473,4	134,56	7,62
	Std, 40, 40S	8,18	202,7	322,6	54,2		42,48	32,26	3017,7	275,52	7,46
	60	10,3	198,4	309,1	67,6		53,03	30,91	3696,1	337,31	7,39
	XS, 80, 80S	12,7	193,7	294,8	82,3		64,56	29,48	4399,5	401,88	7,31
	120	18,2	182,6	261,9	115,1		90,22	26,19	5852,2	534,31	7,13
219	XXS	22,2	174,6	239,4	137,4	107,8	23,94	6742,9	616,26	7,00	
	160	23,0	173,1	235,5	141,7	111,1	23,55	6905,3	631,02	6,98	

(0,25) (0,25)

Singularidades antes (8" ou 200) e depois da bomba (6" ou 150)

COMPONENTE		L/D aprox. m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																					
			15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600			
		angular (aberta)	90°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84	
		Y 45°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	36,2	43,5	50,8	58	69	84		
		Y 60°	175	2,3	3,3	4,4	5,6	6,7	8,8	11,0	13,1	15,8	17,6	21,9	26,2	35,0	43,8	52,6	61,2	70	84	100		
VÁLVULAS		borboleta (80% de abertura)		40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19	23	
		de pé com crivo		420	5,5	8,0	10,5	13,4	16,0	21,0	26,5	31,5	37,8	42,0	52,5	63,0	84,0	105	126	147	168	201	242	
		diatragma (aberta)		85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34	41	49	
		estera (aberta)		3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,7	
		gaveta (aberta)		8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6	
		globo (aberta)		350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	63,0	87,5	105	122	140	167	201	
		macho	duas vias (escoamento direto)		44	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,8	3,3	4,0	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	21	25
		três vias (saída lateral)		140	1,8	2,7	3,5	4,5	5,3	7,0	8,8	10,5	12,6	14,0	21,0	25,2	35,0	42,0	49,0	50,8	56,0	67	80	
		retenção	tipo portinha		135	1,8	2,6	3,4	4,3	5,1	6,8	8,5	10,0	12,2	13,5	16,9	20,2	27,0	33,8	40,5	47,3	54,0	64	78
			de levantamento		350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201
de estera (horizontal)				150	2,0	2,9	3,8	4,8	5,7	7,5	9,5	11,3	13,5	15,0	18,8	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	72	86	
TES		escoamento longo		20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6	12	
		saída lateral		60	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,5	5,4	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	29	35	
		entrada lateral		80	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	38	46	
luva ou união			1,7	desprezível																				
filtro de linha			320	4,2	6,1	8,0	10,2	12,2	16,0	20,2	24,0	28,8	32,0	40,0	48,0	64,0	80,0	96,0	112	128	153	184		

C-10 cont.

COMPONENTE			L/D aprox. m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																		
				15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	
COTOVELOS	45°		padrão	16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,6
		raio longo	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	
	90°		padrão	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14
			raio médio	25	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	5,0	6,2	7,5	8,8	10	12
			raio longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6
	180°		padrão	57	0,7	1,4	1,8	2,7	2,2	2,8	3,6	4,3	5,1	5,7	7,1	8,6	11,4	14,2	17,1	20,0	22,8	27
raio longo		55	0,7	1,0	1,4	1,8	2,1	2,8	3,5	4,1	5,0	5,5	6,9	8,2	11,0	13,8	16,5	19,2	22,0	27		
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO		expansão entre o diâmetro D e o final	1,33 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
		2 D	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14	
		4 D	48	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	23	
		contração entre o diâmetro D e o final	0,75 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
		0,50 D	10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	8,1	
		0,25 D	24	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	11	
SAÍDA DE EQUIPAMENTO	90°		canto vivo	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
			reentrante	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
ENTRADA DE EQUIPAMENTO	90°		canto vivo	25	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	2,3	2,0	2,3	2,6	3,3	3,9	6,2	6,5	7,8	9,1	10,4	12
			reentrante	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19

Trecho de sucção (tubulação antes da bomba):

$$L + \sum Leq = 12 + (10 + (2 \times 5) + (2 \times 1,6)) = 35,2 \text{ m}$$

Trecho de recalque (tubulação depois da bomba):

$$L + \sum Leq = 1100 + (20,2 + 52,5 + 3,9) = 1176,6 \text{ m}$$

Com o P.H.R. no eixo da bomba

$$H_{\text{inicial}} + H_B = H_{\text{final}} + H_{pT}$$

$$20 + H_B = 5 + \left(\frac{f_{aB} \times 35,2 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,2027 \times (322,6 \times 10^{-4})^2} \right) + \left(\frac{f_{dB} \times 1176,6 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,154 \times (186,4 \times 10^{-4})^2} \right)$$

Pela planilha do site temos os valores do coeficiente de perda de carga distribuída:

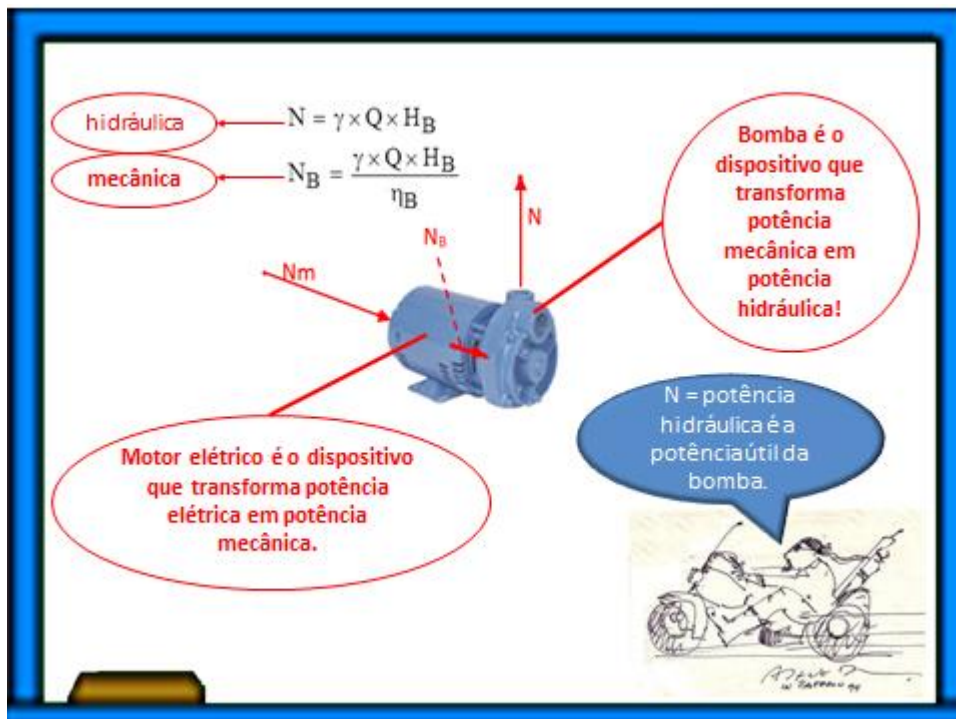
$$f_{aB} = 0,0206 \rightarrow (0,25)$$

$$f_{dB} = 0,0197 \rightarrow (0,25)$$

Retornando na equação da energia:

$$20 + H_B = 5 + \left(\frac{0,0206 \times 35,2 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,2027 \times (322,6 \times 10^{-4})^2} \right) + \left(\frac{0,0197 \times 1176,6 \times (45 \times 10^{-3})^2}{19,6 \times 0,154 \times (186,4 \times 10^{-4})^2} \right)$$

$$H_B = 5 - 20 + 0,35514 + 44,75603 \cong 30,2\text{m} \rightarrow (0,5)$$



Calculando a potência hidráulica:

$$N = \gamma \times Q \times H_B$$

$$N = 879 \times 9,8 \times 4,5 \times 10^{-3} \times 30,2$$

$$N \cong 11706,7\text{W} \rightarrow (0,5)$$

2ª Questão:

a. Qual a vazão de queda livre? Haverá necessidade da bomba?

Para que possamos responder esta pergunta, primeiro temos que conhecer a equação da CCI e nela a carga estática tem que ser negativa.

Para o problema foi afirmado que: **“a equação da CCI, que também foi determinada corretamente resultou na tabela a seguir”:**

Q(m ³ /h)	H _s (m)
0	-14,90
295	-1,81
708	41,2

Equação da CCI: $H_S = A \times Q^2 + B \times Q + C$

Resolvendo sem recorrer ao Excel

Primeira condição de contorno: para $Q = 0$ temos que $H_S = -14,9$ m, portanto:

$$-14,9 = a \times 0 + b \times 0 + c \therefore c = -14,9\text{m}$$

Segunda condição de contorno: para $Q = 295\text{m}^3/\text{h}$ temos que $H_S = -1,81$ m, portanto:

$$-1,81 = a \times 295^2 + b \times 295 - 14,9$$

$$a \times 295^2 + b \times 295 = 13,09 \rightarrow \text{(I)}$$

Terceira condição de contorno: para $Q = 708\text{m}^3/\text{h}$ temos que $H_S = 41,2$ m, portanto:

$$41,2 = a \times 708^2 + b \times 708 - 14,9$$

$$a \times 708^2 + b \times 708 = 56,1$$

$$b = \frac{56,1}{708} - 708 \times a \rightarrow \text{(II)}$$

De (II) em (I), temos:

$$13,09 = a \times 87025 + \left(\frac{56,1}{708} - 708 \times a \right) \times 295$$

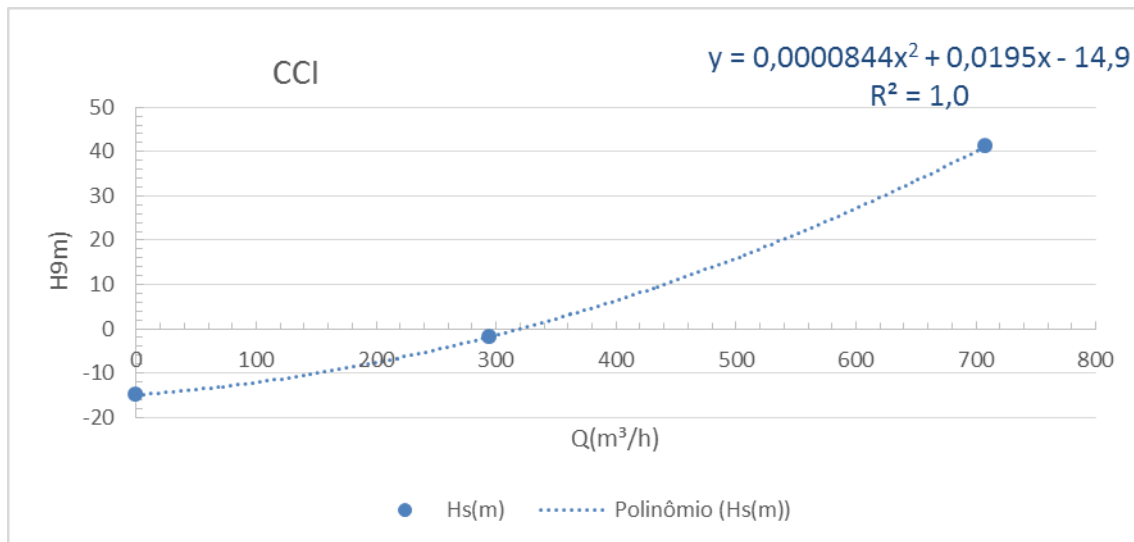
$$87025a - 208860a = -10,285$$

$$a = 0,0000844 \frac{\text{h}^2}{\text{m}^5} \Rightarrow b \cong 0,0195 \frac{\text{h}}{\text{m}^2}$$

$$\text{CCI} \rightarrow H_S = 0,0000844 \times Q^2 + 0,0195 \times Q - 14,9 \rightarrow (0,5)$$

Resolvendo pelo Excel

Q(m ³ /h)	Hs(m)
0	-14,9
295	-1,81
708	41,2



(0,5)

Para ambos os casos a vazão em queda livre é obtida para $H_s = 0$, ou seja, quando a CCI cruza o eixo da vazão, portanto:

$$0 = 0,0000844 \times Q_{qL}^2 + 0,0195 \times Q_{qL} - 14,9$$

$$Q_{qL} = \frac{-0,0195 + \sqrt{0,0195^2 + 4 \times 0,0000844 \times 14,9}}{2 \times 0,0000844} \cong 320,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow (0,25)$$

Como a vazão de queda livre é menor que a vazão desejada há a necessidade da bomba

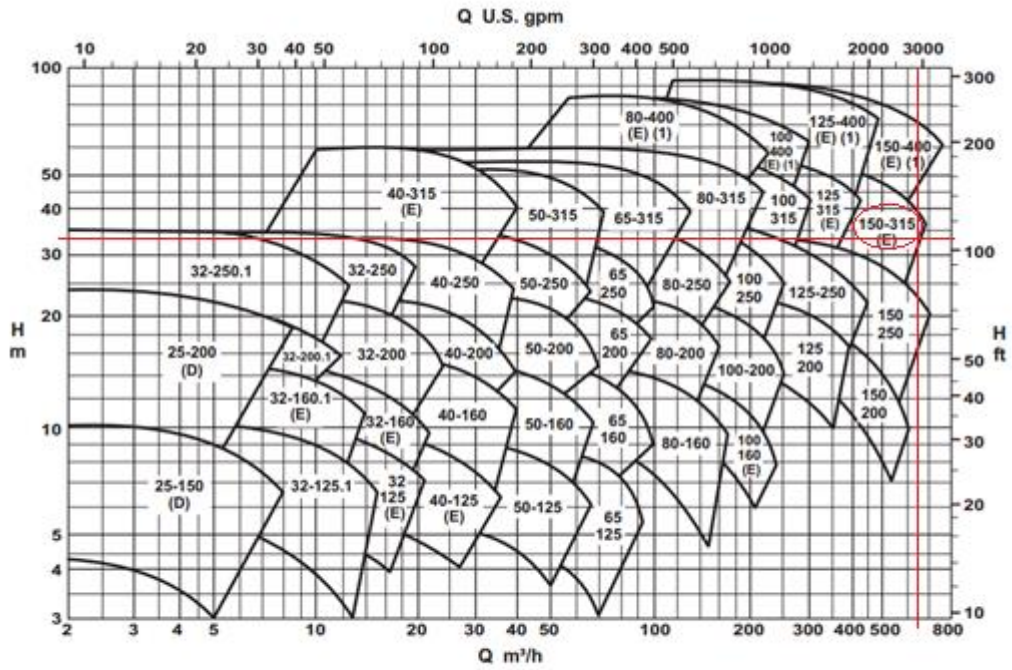
(0,25)

b. Qual a bomba da KSB, o seu diâmetro do rotor e o seu ponto de trabalho baseado nos diagramas a seguir?

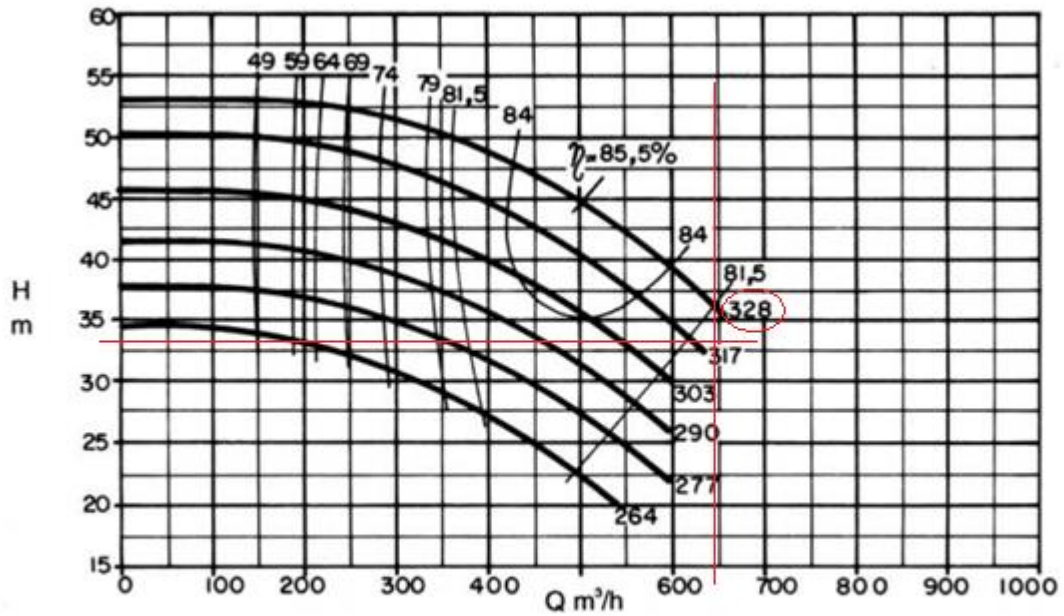
$$Q_{\text{projeto}} = 1,1 \times Q_{\text{desejada}} = 1,1 \times 590 = 649 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \Rightarrow (0,25)$$

$$H_{B\text{projeto}} = H_{S\text{projeto}} = 0,0000844 \times 649^2 + 0,0195 \times 649 - 14,9$$

$$H_{B\text{projeto}} = H_{S\text{projeto}} \cong 33,4\text{m} \Rightarrow (0,25)$$



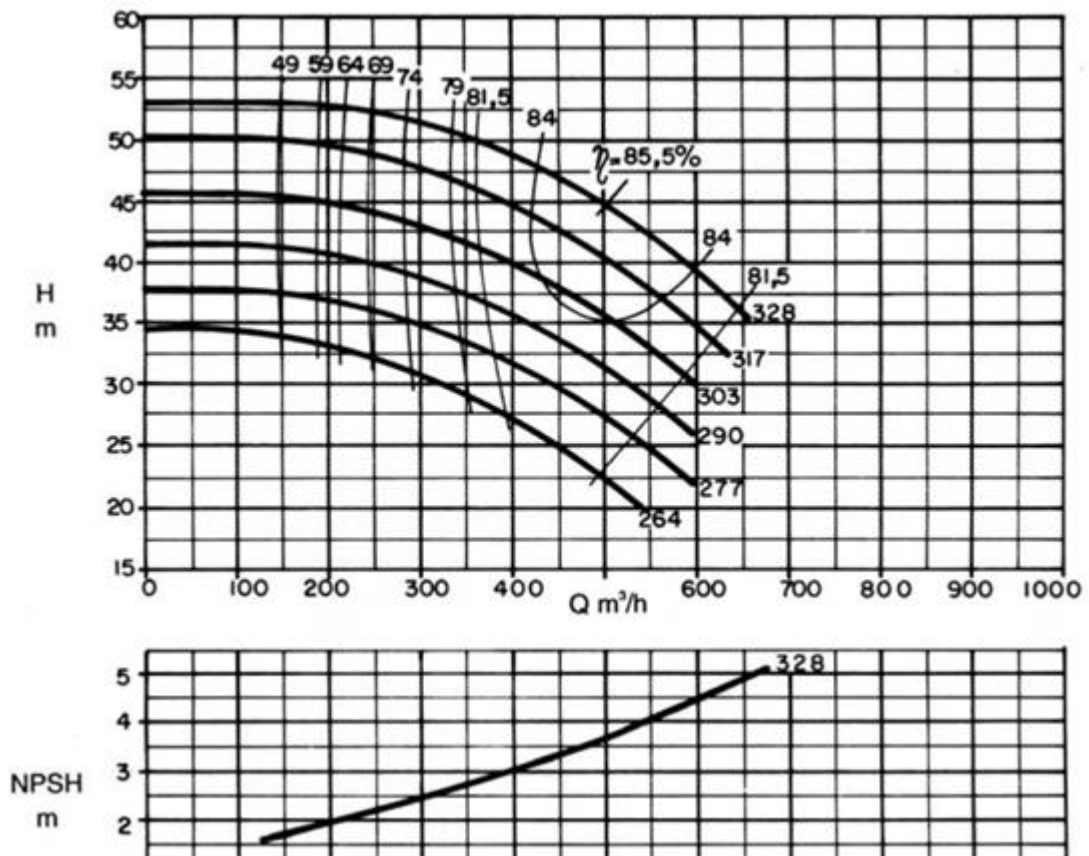
Bomba 150 - 315 - (0,25)



Bomba com diâmetro do rotor igual a 328 mm - (0,25)

Resolvendo pelo Excel

Através das curvas fornecidas pelo fabricante, obtemos as tabelas:

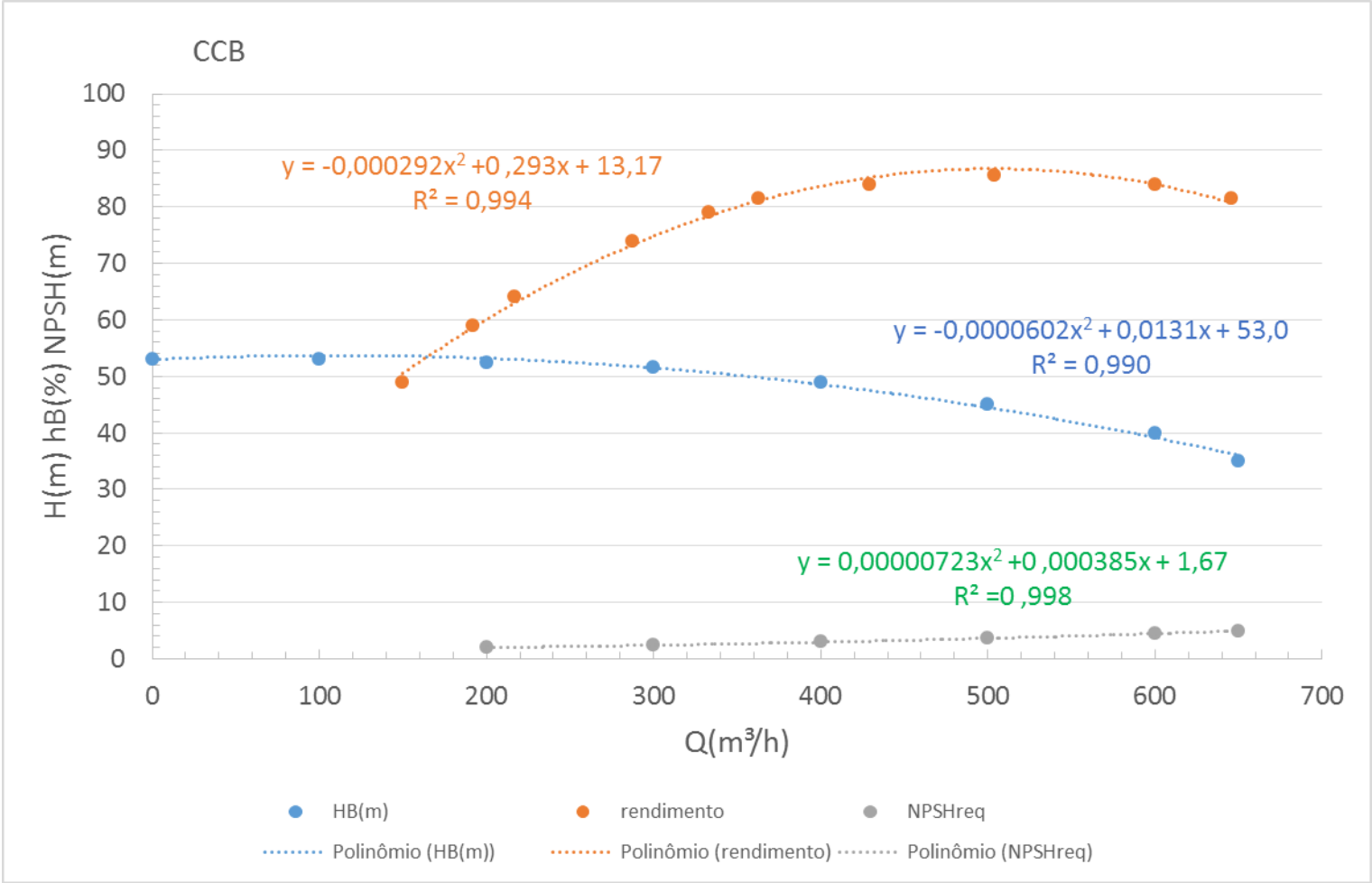


Q(m³/h)	H _B (m)
0	53
100	53
200	52,5
300	51,5
400	49
500	45
600	40
650	35

Q(m³/h)	η_B (m)
150	49
191,66	59
216,68	64
287,49	74
333,32	79
362,51	81,5
429,19	84
504,17	85,5
600	84
645,83	81,5

Q(m³/h)	NPSH(m)
200	2
300	2,5
400	3
500	3,6
600	4,5
650	5

E através delas os gráficos e suas respectivas equações:



No ponto de trabalho, temos:

$$H_B = H_S$$

$$-0,0000602 \times Q^2 + 0,0131 \times Q + 53 = 0,0000844 \times Q^2 + 0,0195 \times Q - 14,9$$

$$1,446 \times 10^{-4} \times Q^2 + 6,4 \times 10^{-3} \times Q - 67,9 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{-6,4 \times 10^{-3} + \sqrt{(6,4 \times 10^{-3})^2 + 4 \times 1,446 \times 10^{-4} \times 67,9}}{2 \times 1,446 \times 10^{-4}} \cong 666,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,25)$$

$$H_{B_\tau} = 0,0000844 \times 666,2^2 + 0,0195 \times 666,2 - 14,9 \cong 35,5\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,000292 \times 666,2^2 + 0,293 \times 666,2 + 13,17 \cong 78,7\% \rightarrow (0,25)$$

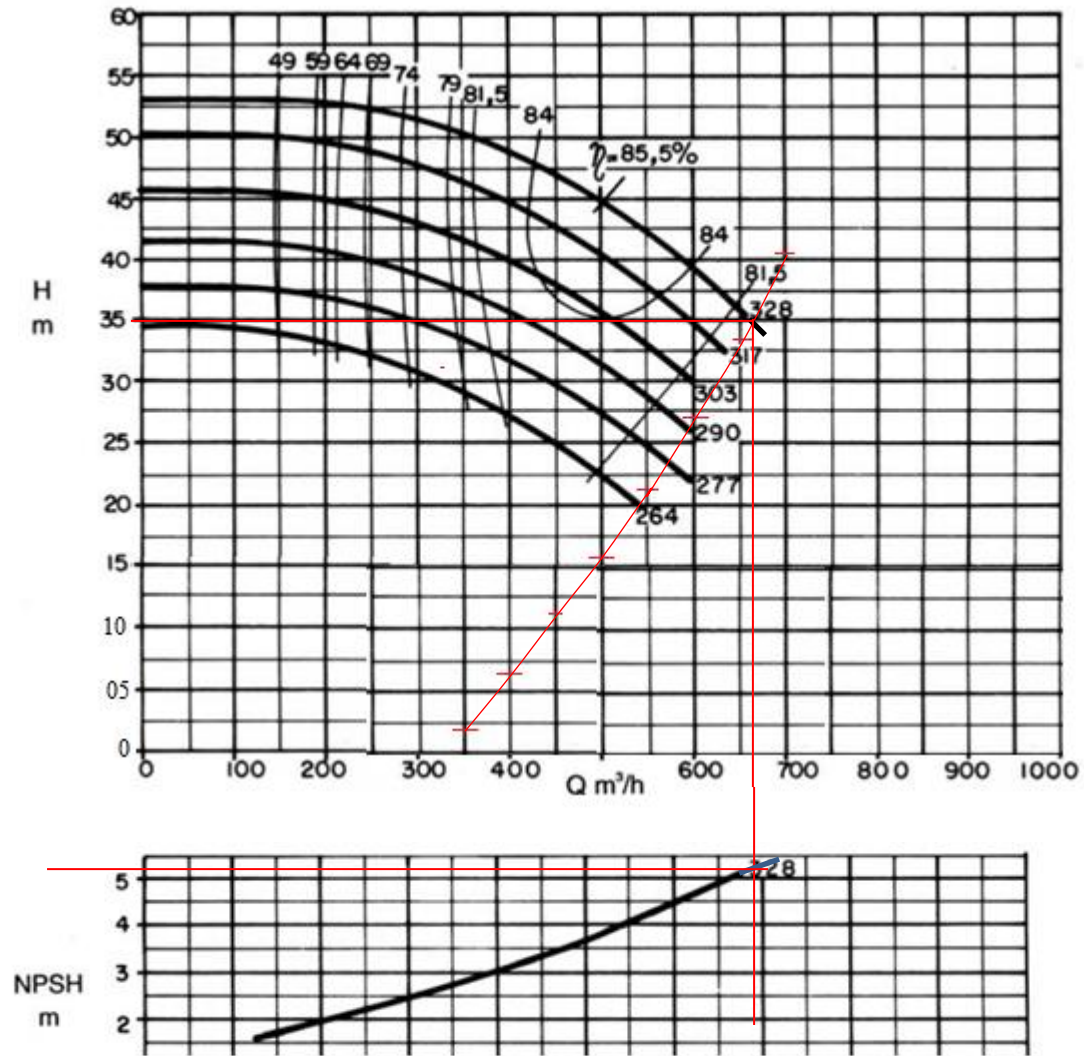
$$NPSH_{\text{req}} = 0,00000723 \times 666,2^2 + 0,000385 \times 666,2 + 1,67 \cong 5,2\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$N_{B_\tau} = \frac{808,1 \times 9,8 \times \left(\frac{666,2}{3600}\right) \times 35,5}{0,787} \cong 66107\text{W} \rightarrow (0,25)$$

Resolvendo sem recorrer ao Excel

$$CCI \rightarrow H_S = 0,0000844 \times Q^2 + 0,0195 \times Q - 14,9$$

Q(m ³ /h)	H _B (m)
350	2,3
400	6,4
450	11,0
500	16,0
550	21,4
600	27,2
650	33,4
700	40,1



$$Q_{\tau} \cong 664 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow (0,25)$$

$$H_{B_{\tau}} \cong 35\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$\eta_{B_{\tau}} \cong 79\% \rightarrow (0,25)$$

$$NPSH_{\text{req}} \cong 5,2\text{m} \rightarrow (0,25)$$

$$N_{B_{\tau}} = \frac{808,1 \times 9,8 \times \left(\frac{664}{3600}\right)^3 \times 35}{0,79} \cong 64714\text{W} \rightarrow (0,25)$$

c. Ocorre o fenômeno de cavitação? Justifique.

Para não existir o fenômeno de cavitação a condição necessária e suficiente é:

$$NPSH_{\text{disponível}} - NPSH_{\text{requerido}} \geq 0$$

$$NPSH_{\text{disponível}} = z_{\text{inicial}} + \frac{P_{\text{inicial abs}} - P_{\text{vapor}}}{\gamma} - H_{\text{paB}}$$

$z_{\text{inicial}} \Rightarrow$ com o PHR no eixo da bomba

Dados: pressão atmosférica local igual a 101325 Pa; pressão no nível do fluido na torre de destilação atmosférica igual a 1,8 kgf/cm²; propriedades do fluido: massa específica igual a 808,1 kg/m³; viscosidade igual a 0,00144 Pa*s e pressão de vapor 2,83 kgf/cm² (abs); tubulação antes da bomba constituída de: **uma** saída de equipamento com canto vivo, **duas** válvulas gavetas, **um** filtro de linha, **dois** cotovelos de 90° de raio longo, **um** tê de saída de lado, **quatro** uniões e um **comprimento de tubulação** igual a 22,1 m; **com PHR no eixo da bomba** a cota do nível mínimo da torre de destilação atmosférica é igual a 6,6 m.

As tubulações foram bem dimensionadas e optou-se por tubos de aço comercial (**K = 0,000046 m**) com **espessura 80** e resultaram para **a tubulação antes da bomba um diâmetro nominal de 14" (350)** e para depois da bomba um diâmetro nominal de 12".

Diâmetro nominal (pol) -- Diâmetro externo (mm)	Designação de espessura. (v. Nota 2)	Espessura de parede (mm) (v. Nota 3)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm ²)	Área da seção de metal (cm ²)	Superfície externa (m ² /m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm ⁴)	Momento resistente (cm ³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
14	10	6,35	342,9	923,3	69,7	1,118	54,62	92,33	10630	598,24	12,34
	Std. 30	9,52	336,5	889,7	103,5		81,20	88,97	15525	873,59	12,24
	40	11,1	333,4	872,9	120,1		94,29	87,29	17856	1003,1	12,19
	XS	12,7	330,2	856,2	136,8		107,3	85,62	20145	1132,5	12,14
	60	15,1	325,5	832,3	161,2		126,3	83,23	23392	1316,1	12,04
356	80	19,0	317,5	791,7	201,3	157,9	79,17	28595	1609,5	11,91	
	100	23,8	308,0	745,2	248,4	194,5	74,52	34339	1930,7	11,76	

$$D_{\text{int}} = 317,5\text{mm} \Rightarrow A = 791,7\text{cm}^2$$

$$\Rightarrow f_{\text{aB}} = 0,0153 \Rightarrow \text{para as duas vazões, ou seja } 666,2 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ou } 664 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow (0,25)$$

Comprimentos Equivalentes em metros de TUDO RETO Classe 4U

Apêndice C-10

COMPONENTE			L/D aprox m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																				
				15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600		
VALVULAS		angular (aberta)	90°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	35,2	43,5	50,8	58	69	84	
			Y 45°	145	1,9	2,8	3,6	4,6	5,5	7,3	9,1	10,9	13,1	14,5	18,1	21,8	29,0	35,2	43,5	50,8	58	69	84	
			Y 60°	175	2,3	3,3	4,4	5,6	6,7	8,8	11,0	13,1	15,8	17,5	21,9	26,2	35,0	43,8	52,5	61,2	70	84	100	
		borboleta (80% de abertura)	de pé com crivo	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19	23	
			diáfagma (aberta)	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34	41	49	
			estêrea (aberta)	3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,4	1,7
			gaveta (aberta)	8	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6	
			globo (aberta)	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201	
				macho	duas vias (escoamento direto)	44	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,8	3,3	4,0	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	21
	três vias (saída lateral)	140			1,8	2,7	3,5	4,5	5,3	7,0	8,8	10,5	12,6	14,0	21,0	25,2	35,0	42,0	49,0	58,8	69,6	84	100	
		retenção	tipo portinhola	135	1,8	2,6	3,4	4,3	5,1	6,8	8,5	10,0	12,2	13,5	16,9	20,2	27,0	33,8	40,5	47,3	54,0	64	78	
			de levantamento	350	4,6	6,6	8,8	11,2	13,3	17,5	22,1	26,2	31,5	35,0	43,8	52,5	70,0	87,5	105	122	140	167	201	
			de estêrea (horizontal)	150	2,0	2,9	3,8	4,8	5,7	7,5	9,5	11,3	13,5	15,0	18,8	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0	72	86	
	TÊS		escoamento longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6	12	
			saída lateral	60	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,5	5,4	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	29	35	
			entrada lateral	80	1,0	1,5	2,0	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0	7,2	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	28,0	32,0	38	46	
luva ou união		1,7	desprezível														0,6	0,7	0,8	1,0				
filtro de linha		320	4,2	6,1	8,0	10,2	12,2	16,0	20,2	24,0	28,8	32,0	40,0	48,0	64,0	80,0	96,0	112	128	153	184			

C-10 cont.

APÊNDICE

COMPONENTE			L/D aprox m/m	DIÂMETRO NOMINAL (mm)																		
				15	20	25	32	40	50	65	80	90	100	125	150	200	250	300	350	400	500	
COTOVELOS	45°		padrão	16	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,6
			raio longo	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8
	90°		padrão	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14
			raio médio	25	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	5,0	6,2	7,5	8,8	10	12
			raio longo	20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6
	180°		padrão	85	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,4	6,4	7,6	8,5	10,6	12,8	17,0	21,2	25,5	29,8	34,0	41
raio longo			55	0,7	1,0	1,4	1,8	2,1	2,8	3,5	4,1	5,0	5,5	6,9	8,2	11,0	13,8	16,5	19,2	22,0	27	
ALTERAÇÕES BRUSCAS DE SEÇÃO		expansão entre o diâmetro D e o final	1,33 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8	
			2 D	30	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,0	3,8	4,5	6,0	7,5	9,0	10,5	12	14
			4 D	48	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	23
		contração entre o diâmetro D e o final	0,75 D	10	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,8	
		0,50 D	10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	8,1	
		0,25 D	24	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	11	
SAÍDA DE EQUIPAMENTO	90°		canto vivo	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
			reentrante	50	0,7	1,0	1,2	1,6	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,0	6,2	7,5	10,0	12,5	15,0	18,0	20,0	24
ENTRADA DE EQUIPAMENTO	90°		canto vivo	25	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	2,3	2,0	2,3	2,6	3,3	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	12
			reentrante	40	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	19

$$z_{\text{inicial}} = 6,6\text{m};$$

$$P_{\text{inicial abs}} = 1,8 \times 9,8 \times 10^4 + 101325 = 277725 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{vapor}} = 2,83 \times 9,8 \times 10^4 = 277340 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\gamma = 808,1 \times 9,8 = 7919,38 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

uma saída de equipamento com canto vivo $\rightarrow Leq = 15\text{m};$

duas válvulas gavetas $\rightarrow Leq = 2 \times 2,8 = 5,6\text{m};$

um filtro de linha $\rightarrow Leq = 112\text{m};$

dois cotovelos de 90° de raio longo $\rightarrow Leq = 2 \times 7 = 14\text{m};$

um tê de saída de lado $\rightarrow Leq = 21\text{m};$

quatro uniões $\rightarrow Leq = 4 \times 0,6 = 2,4\text{m};$

comprimento de tubulação igual a 22,1 m.

$$NPSH_{\text{disp}} = 6,6 + \frac{277725 - 277340}{7919,38} - 0,0153 \times \frac{(22,1 + 170)}{0,3175} \times \frac{\left(\frac{666,2}{3600}\right)^2}{19,6 \times (791,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$NPSH_{\text{disp}} \cong 4,07\text{m} \approx 4\text{m} \rightarrow (0,5)$$

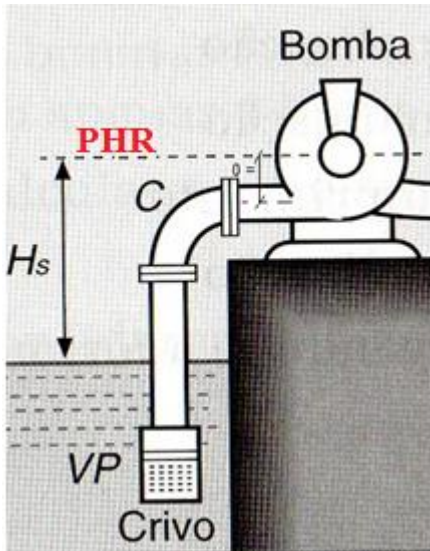
$$NPSH_{\text{disp}} < NPSH_{\text{req}} \Rightarrow \text{está cavitando} \rightarrow (0,5)$$

3ª Questão:

a. a altura máxima que a bomba pode ser instalada em relação ao nível de captação (H_s) para que não ocorra o fenômeno de cavitação.

- vazão de trabalho de $72 \text{ m}^3/\text{h};$
- para esta vazão de trabalho o $NPSH_{\text{requerido}}$ é 4 m
- um único diâmetro de aço XXS ($K = 0,000046\text{m}$) com diâmetro nominal de 4"

Diâmetro nominal (pol)	Designação de espessura.	Espessura de parede (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área da seção livre (cm^2)	Área da seção de metal (cm^2)	Superfície externa (m^2/m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm^4)	Momento resistente (cm^3)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
4	10S	3,05	108,2	91,9	10,6	0,361	8,35	9,19	164,83	28,88	3,93
-	Std, 40, 40S	6,02	102,3	82,1	20,4	-	16,06	8,21	300,93	52,61	3,84
	XS, 80, 80S	8,56	97,2	74,2	28,4		22,29	7,42	399,99	69,99	3,75
	160	13,5	87,3	59,9	42,7		33,49	5,99	552,34	96,70	3,60
114	XXS	17,1	80,1	50,3	52,3	40,98	5,03	636,42	111,29	3,49	



Dados: pressão atmosférica igual a 101234 Pa; propriedades do fluido bombeado: massa específica igual a 997 kg/m³, viscosidade cinemática igual a $0,892 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ e pressão de vapor igual a 3166 Pa (abs); comprimento da tubulação antes da bomba 5,4 m que tem as seguintes singularidades: válvula de poço (válvula de pé com crivo) da Mipel e curva fêmea de 90° da Tupy.

Tabela 16: Comprimento equivalente de tubulação - Máximos valores previstos para válvulas de bronze (m)

DN	Esfera		Retenção			Gaveta	Macho	Globo				
	Pass. plena	Pass. reduzida	Portinhola	Horizontal	Vertical e poço			Reta c/ guia	Reta s/ guia	Angular c/ guia	Angular s/ guia	Obliqua
6	0,16	0,16	-	5,80	-	0,16	0,55	5,80	4,27	2,44	1,77	1,77
10	0,43	0,16	-	5,80	-	0,16	0,55	5,80	4,27	2,44	1,77	1,77
15	0,20	0,29	0,76	7,62	6,75	0,21	0,70	7,62	5,10	3,05	2,22	2,22
20	0,27	1,18	1,03	9,75	8,73	0,28	0,91	9,75	7,31	4,30	2,74	2,74
25	0,33	0,83	1,28	12,19	10,97	0,33	1,16	12,19	8,54	5,18	3,66	3,66
32	0,46	1,83	1,77	15,85	14,62	0,46	1,53	15,85	11,88	7,00	4,88	4,88
40	0,55	1,41	2,04	19,20	17,07	0,55	1,83	19,20	13,72	7,92	5,79	5,79
50	0,70	4,52	2,68	25,00	19,81	0,70	2,13	25,00	17,68	10,36	7,26	7,26
65	0,85	3,62	3,10	28,95	26,80	0,85	2,75	28,95	21,38	-	-	-
80	1,03	3,09	3,95	36,60	32,00	1,03	3,50	36,60	25,90	-	-	-
100	-	-	5,18	45,70	42,65	1,30	4,50	45,70	-	-	-	-
125	-	-	-	-	54,80	1,70	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	64,00	2,00	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	2,75	-	-	-	-	-	-

Equivalência da Perda de Carga das Conexões TUPY BSP em Metros de Tubos de Aço Galvanizados

DIÂMETRO NOMINAL	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
	0,23	0,35	0,47	0,70	0,94	1,17	1,41	1,88	2,35	2,82	3,76	4,70	5,64
	0,22	0,33	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,78	2,23	2,68			
		0,16	0,22	0,32	0,43	0,54	0,65	0,86	1,08	1,30	1,73	2,16	2,59
		0,61	0,81	1,22	1,63	2,03	2,44	3,25					
			0,27	0,41	0,55	0,68	0,82	1,04	1,37	1,64	2,18		

propriedades do fluido transportado					
temp (°C)		μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)	p_v (Pa)	v (m ² /s)
		8,89E-04	997		8,920E-07

propriedades do local		
g =		m/s ²
patm =		Pa

mat. tubo aço				Q m ³ /h 72,0
espessura	Dint (mm)	A (cm ²)		
	80,1	50,3		
K(m)	DH/k			
4,60E-05	1741			

Q(m ³ /h)	v(m/s)	Re	$f_{Haaland}$	$f_{Swamee e Jain}$	$f_{Churchill}$	$f_{planilha}$
72,0	3,98	357051	0,0183	0,0185	0,0185	0,0184

(0,25)

$$H_{paB} = f \times \frac{(L + \sum Leq)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2} = 0,0185 \times \frac{(5,4 + 44,83)}{0,0801} \times \frac{(72/3600)^2}{19,6 \times (50,3 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{paB} \cong 9,36m \rightarrow (0,25)$$

$$z_{max} = H_S \Rightarrow NPSH_{disp} = NPSH_{req} \Rightarrow PHR \text{ no eixo da bomba}$$

$$-H_S + \frac{(101234 - 3166)}{997 \times 9,8} - 9,36 = 4 \therefore -H_S = 3,32m \Rightarrow H_S = -3,32m \Rightarrow (0,5)$$

Para a bomba não cavitarela deve ser instalada no mínimo a 3,32 m abaixo do nível de captação, ou seja, afogada. (0,5)

b. a pressão estática na seção de entrada da bomba nas condições estabelecidas no item a.

$$H_i = H_e + H_{pAB} \rightarrow PHR \text{ em (i)}$$

$$0 = -3,32 + \frac{p_e}{997 \times 9,8} + \frac{(72/3600)^2}{19,6 \times (50,3 \times 10^{-4})^2} + 9,36$$

$$p_e \cong -66895,6Pa \rightarrow (1,0)$$