

# Quarta aula de ME5330

Agosto de 2010



Vamos iniciar  
resolvendo a  
parte extra da  
terceira  
atividade



Extras:

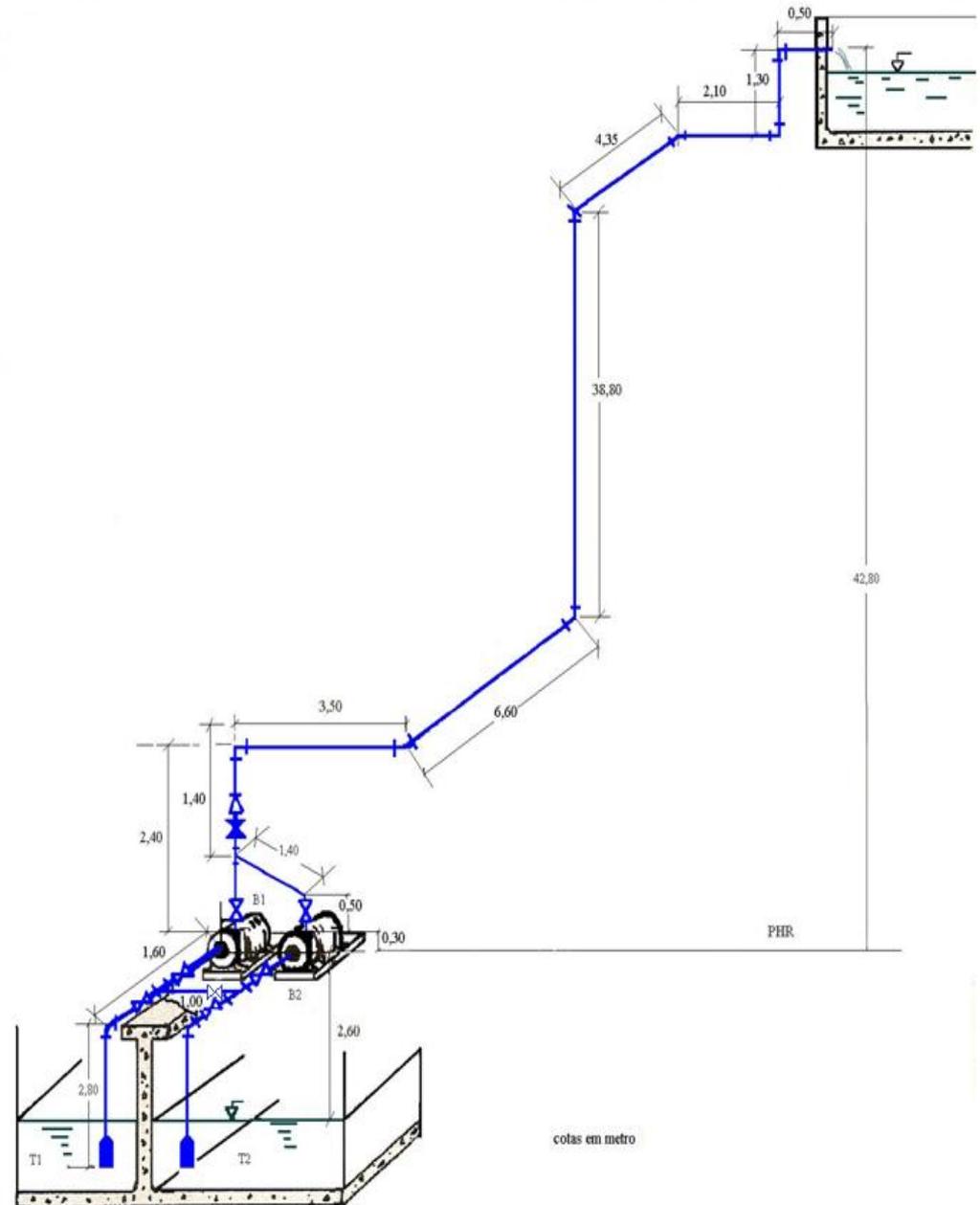
1. determine o comprimento equivalente e o coeficiente de perda de carga singular da válvula globo parcialmente fechada para se ter a vazão de  $17,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e para esta vazão verifique o dimensionamento das tubulações.
2. Analise a tabela fornecida pela Tupy para determinação da perda e dê seu parecer sobre ela.

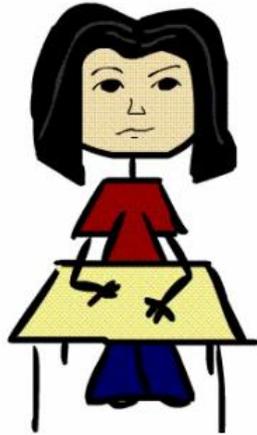


Na aula anterior  
havíamos obtido o  
ponto de trabalho da  
instalação ao lado,  
onde obtivemos  
 $Q = 21,7 \text{ m}^3/\text{h}$  e  
 $HB = 64,9 \text{ m}$



Vamos retomar as  
equações da CCI e  
da CCB





Por que a CCB ?

Simplesmente porque ela não se altera para a nova vazão de 17,5 m<sup>3</sup>/h, já a equação da CCI sofre alteração já que a válvula globo de 2" estará parcialmente fechada!



CCB

$$H_B = -0,0408Q^2 + 0,1849Q + 80 \rightarrow [H_B] = m \text{ e } [Q] = m^3/h$$

CCI

$$H_S = 45,4 + 10834,9Q^2 + f_{3''}1205525,5Q^2 + f_{2''}23333191,2Q^2 - f_{2''}3648777,9Q^2 + H_{PVG_{p.fechada}}$$

$$f_{2''}3648777,9Q^2 = f_{2''} \frac{17,68}{0,0525} \frac{Q^2}{19,6(21,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$[H_S] = m \text{ e } [Q] = m^3/s$$



$$H_{S_N} = H_{B_{17,5}} = -0,0408 \times 17,5^2 + 0,1849 \times 17,5 + 80 \cong 70,7\text{m}$$

$$70,7 = 45,4 + 10834,9 \times \left(\frac{17,5}{3600}\right)^2 + 0,0215 \times 1205525,5 \times \left(\frac{17,5}{3600}\right)^2 + 0,0217 \times 23333191,2 \times \left(\frac{17,5}{3600}\right)^2$$

$$- 0,0217 \times 3648777,9 \times \left(\frac{17,5}{3600}\right)^2 + H_{p_{VG_{p\_fechada}}}$$

$$70,7 = 45,4 + 0,256 + 0,613 + 12,0 - 1,9 + H_{p_{VG_{p\_fechada}}} \therefore H_{p_{VG_{p\_fechada}}} \cong 14,4\text{m}$$

$$14,4 = K_S \times \frac{\left(\frac{17,5}{3600}\right)^2}{19,6 \times (21,7 \times 10^{-4})^2} \therefore K_S \cong 56,2 \Rightarrow Leq_{VG_{p\_fechada}} = \frac{56,2 \times 0,0525}{0,0217} \cong 136\text{m}$$



Agora com este exercício eu estou entendendo o exercício da válvula agulha na bancada 8!

Eu também!



Existe semelhança nos conceitos envolvidos, mas vamos concluir este exercício e em seguida resolvo o da válvula agulha.

Para verificar o dimensionamento da tubulação recorro a velocidade econômica?



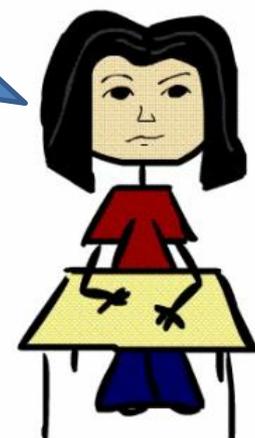
Sim, só não esqueça que se deve verificar antes e depois da bomba!



Além disso, na solução do problema ir buscar mais do que uma referência, isto é fundamental para criar a conscientização que não existe uma única solução!



Vou consultar a bibliografia básica e alguns fabricantes de bomba!





Algumas pesquisas bibliograficas feitas sobre as velocidades recomendadas para a água!

[http://www.mspsc.eng.br/fldetc/fluid\\_0230.shtml](http://www.mspsc.eng.br/fldetc/fluid_0230.shtml)

Linha de sucção 1 a 1,6 m/s • Linha de recalque 2 a 3 m/s

[http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula1\\_unidade7.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula1_unidade7.htm)

FLUIDO (líquido)	Velocidade econômica (m/s)	Material da Tubulação
Água:		
- serviços gerais	0,9 a 2,5	aço
- rede industrial	0,9 a 2,2	aço
Bombas:		
- linha de sucção	0,9 a 2,2	aço
- linha de recalque	2,1 a 3,0	aço
Ácido clorídrico	1,5	rev. de borracha
Ácido sulfúrico 88 a 98%	1,2	F° F°
Amoníaco	1,8	aço
Benzeno	1,8	aço
Cloro	1,5	aço

tabela 7.3 as velocidades recomendadas pela Alvenius Equipamentos Tubulares S/A

Fluido	Velocidade (m/s)
Água - redes em cidades	1 a 3
- redes industriais	2 a 4
- alimentação de caldeiras	4 a 8
- sucção de bombas	0,75 a 1,8

<http://manutencaooffshore.com/2010/01/31/bombas-centrifugas-cavitacao/>

*Tabela VI.5 – Máximas velocidades de sucção:*

Diâmetro (mm)	Velocidade máxima (m/s)
50	0,75
75	1,10



O escoamento será:

**Laminar :  $Re < 2.000$**

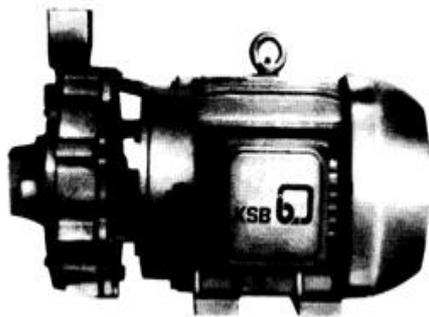
**Turbulento :  $Re > 4.000$**

Para uso prático, as velocidades de escoamento mais econômicas são:

Velocidade de Sucção  $\leq 1,5$  m/s (limite 2,0 m/s)

Velocidade de Recalque  $\leq 2,5$  m/s (limite 3,0 m/s)

Bomba Centrífuga para Uso Geral



LINHA:	Mega
VERSÃO:	Bloc

## 7.1. Tubulação de Sucção

A tubulação de sucção deve ser dimensionada atendendo aos seguintes critérios:

- Diâmetro nunca inferior ao bocal de sucção.
- Velocidade do líquido, máxima de 2 m/s.
- Instalar a tubulação mais reta e curta possível.
- Em caso de sucção negativa, instalar a tubulação em aclave em direção à bomba.
- Procurar minimizar as perdas de pressão na tubulação de sucção e os respectivos acessórios (válvula de gaveta, válvula de pé, curvas, reduções, crivo, etc.).
- Evitar na disposição da tubulação de sucção, principalmente se for sucção negativa, a formação de bolsões de ar causados por sifão, reduções concêntricas, etc.

## 7.2. Tubulação de Recalque

A tubulação de recalque deve ser dimensionada considerando os seguintes critérios:

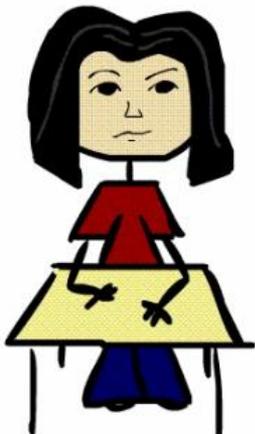
### a) Econômicos:

- Investimento da bomba.
- Investimento na tubulação e seus respectivos acessórios.
- Tempo de amortização do investimento.

### b) Técnicos:

- Velocidade recomendada, máxima de 5 m/s.
- Instalar após o bocal de recalque uma válvula de retenção.
- Evitar a formação de bolsões de ar na tubulação. Caso isto não seja possível, devem ser previstos nos pontos mais altos da tubulação meios para facilitar a saída do ar.

São as maiores velocidades recomendadas. E agora, o que devo considerar?





O profissional da engenharia deve estar apto a tomar decisões, aqui vamos considerar a  $v_{\text{sucção}} < 1,5 \text{ m/s}$  e a  $v_{\text{recalque}} < 3,0 \text{ m/s}$

$$v_{aB} = v_{\text{sucção}} = \frac{\left(\frac{17,5}{3600}\right)}{47,7 \times 10^{-4}} \cong 1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

∴ está bem dimensionada

$$v_{\text{recalque}} = \frac{\left(\frac{17,5}{3600}\right)}{21,7 \times 10^{-4}} \cong 2,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

∴ está bem dimensionada

Agora, vamos analisar a tabela da Tupy!



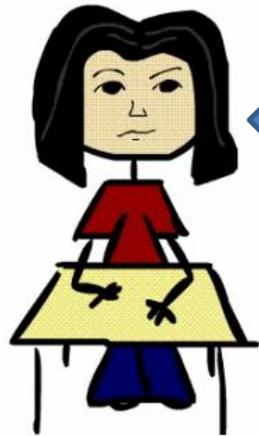
## Perda de Carga em Tubos de Aço Galvanizados

1		1¼		1½		2		2½		3		4		5		6		litros/h	gal./min.	
VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA	VELOC.	PERDA			
																		227	1	
																		454	2	
0,342	1,26																	681	3	
0,454	2,14																	908	4	
0,567	3,25																	1135	5	
1,134	11,70	0,653	3,05	0,479	1,43	0,311	0,50	0,198	0,17	0,137	0,07							2270	10	
1,708	25,00	0,976	6,50	0,720	3,00	0,467	1,08	0,299	0,36	0,207	0,15							3405	15	
2,269	42,00	1,308	11,10	0,961	5,20	0,622	1,82	0,399	0,61	0,277	0,25							4540	20	
2,837	64,00	1,635	16,60	1,202	7,80	0,778	2,73	0,497	0,92	0,344	0,38							5675	25	
3,400	89,00	1,961	23,50	1,440	11,00	0,933	3,84	0,598	1,29	0,414	0,54							6810	30	
3,971	119,00	2,290	31,20	1,681	14,70	1,089	5,10	0,698	1,72	0,485	0,71							7945	35	
4,538	152,00	2,617	40,00	1,922	18,80	1,244	6,60	0,796	2,20	0,555	0,91	0,311	0,22					9080	40	
		2,943	50,00	2,159	23,20	1,403	8,20	0,896	2,80	0,625	1,15	0,357	0,28					10215	45	
		3,269	60,00	2,400	28,40	1,560	9,90	0,997	3,32	0,692	1,38	0,390	0,34					11350	50	
		4,578	113,00	3,361	53,00	2,181	18,40	1,396	6,21	0,970	2,57	0,546	0,63	0,347	0,21			15890	70	
				3,560	60,00	2,336	20,90	1,527	7,10	1,036	3,05	0,585	0,73	0,372	0,24			17025	75	
				4,800	102,00	3,114	35,80	1,994	12,00	1,384	4,96	0,777	1,22	0,497	0,41	0,347	0,14	22700	100	
				5,761	143,00	3,736	50,00	2,390	16,80	1,661	7,00	0,933	1,71	0,597	0,58	0,433	0,25	27240	120	
						3,889	54,00	2,487	18,20	1,728	7,60	0,972	1,86	0,622	0,64	0,451	0,28	28375	125	
						4,673	76,00	2,988	25,50	2,073	10,50	1,170	2,55	0,740	0,88	0,521	0,32	34050	150	
												14,00	1,356	3,44	0,872	1,18	0,610	0,48	39725	175
												17,80	1,558	4,40	0,997	1,48	0,695	0,62	45400	200
												22,30	1,759	5,45	1,119	1,86	0,783	0,74	51075	225
												27,20	1,951	6,72	1,244	2,24	0,853	0,92	56750	250
												31,30	2,103	7,70	1,347	2,60	0,924	1,13	61290	270
												32,50	2,143	7,99	1,372	2,72	0,933	1,15	62425	275
												38,00	2,335	9,30	1,494	3,14	1,036	1,29	68100	300
													2,713	2,32	1,743	4,19	1,213	1,75	79450	350
													3,112	16,00	1,993	5,40	1,384	2,21	90800	400
													3,505	19,80	2,240	6,70	1,561	2,65	102150	450
													3,688	22,40	2,347	7,22	1,673	2,90	106690	470
													3,719	22,96	2,365	7,42	1,692	2,95	107825	475
													3,892	24,00	2,490	8,12	1,707	3,30	113500	500

Velocidade (m/s)  
Perda (mH<sub>2</sub>O / 100m de tubo)



Não será possível analisá-la, pois a mesma não informa como a perda foi calculada e nem a temperatura da água considerada e isto já torna a tabela bastante falha!



Vamos agora  
rever o exercício  
proposto para a  
válvula agulha  
da bancada 8?

Tudo bem!  
Vamos iniciar  
refletindo sobre os  
objetivos da  
atividade proposta.



O objetivo deste trabalho é calcular a perda de carga originada por uma válvula agulha instalada no caminho central da bancada 8 do laboratório de Mecânica dos Fluidos, sala IS01 do Centro Universitário da FEI, bem como, especificar seu coeficiente de perda de carga localizada (singular) e seu comprimento equivalente para o aço e para o PVC.





Iniciamos anotando a temperatura ambiente e considerando o fluido a uma temperatura com 2°C a menos!

Tabela 1: Propriedades do laboratório no dia do ensaio.

Temperatura (°C)	g (m/s <sup>2</sup> )	
18	9,8	

Tabela 2: Propriedades da água em função da temperatura

massa específica ( $\rho$ )	998,9	kg/m <sup>3</sup>
viscosidade cinemática ( $\nu$ )	1,11E-06	m <sup>2</sup> /s

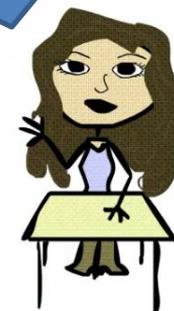
a água foi considerada a 16°C

E aí temos as propriedades da água.

É importante informar que a tubulação da bancada 8 é na sua grande parte de aço 40 e uma parte de PVC (na instalação da válvula agulha) e que as singularidades (conexões, curvas, joelhos ...) são em parte da Tupy, quando aço, e Tigre, quando PVC, e as válvulas de bronze são da Mipel.



Estas informações são importantes para se determinar os comprimentos equivalentes das singularidades!



Isso mesmo, porém antes de obtermos os comprimentos equivalentes, vamos aplicar a equação da energia entre a seção inicial (1) e a seção final (2) e como a instalação só tem uma entrada e uma saída, tem-se que:



$$H_1 + H_s = H_2 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$H_s = H_2 - H_1 + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$H_s = (z_f - z_i) + \left( \frac{p_f - p_i}{\gamma} \right) + \left( \frac{\alpha_f \times v_f^2 - \alpha_i \times v_i^2}{2g} \right) + H_{p_{\text{totais}}}$$

$$H_s = H_{\text{estática}} + \left( \frac{\alpha_f \times v_f^2 - \alpha_i \times v_i^2}{2g} \right) + H_{p_{\text{totais}}}$$

Vamos obter a equação da CCI

Isso mesmo, é importante também observar que no ponto de trabalho a carga do sistema ( $H_s$ ) é igual a carga manométrica da bomba ( $H_B$ ) e esta pode ser obtida pela equação da linha de tendência da CCB parcial que foi dada em função da vazão "máxima" obtida para a válvula globo sem a válvula agulha e para a válvula globo com a válvula agulha

$$H_B = -0,0779Q^2 + 0,1366Q + 39,5$$

$$Q_{\text{máx}_{\text{sem\_agulha}}} = 3,74 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{máx}_{\text{com\_agulha}}} = 1,58 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Q(m <sup>3</sup> /h)	H <sub>B</sub> (m)	
13,5	27,2	sem agulha
5,7	37,8	com agulha

A vazão com agulha sendo menor e a carga manométrica da bomba sendo maior já demonstram que a perda de carga na agulha é maior que da globo.

Verdade!



Apesar da carga estática (Hest) não depender da vazão, ela não é a mesma nas duas situações, além disso, na situação em que utiliza-se a válvula agulha, existe velocidade na seção final, enquanto que na situação de não utilizar a válvula agulha a velocidade final é nula, já que a seção final é o nível de reservatório, portanto:

$$H_{B_{\text{com v. agulha}}} - H_{B_{\text{sem v. agulha}}} = H_{\text{est}_{\text{com agulha}}} - H_{\text{est}_{\text{sem agulha}}} + \left( \frac{\alpha_f \times v_{f_{\text{PVC}}}^2}{2g} \right) + H_{P_{\text{total}_{\text{com agulha}}}} - H_{P_{\text{total}_{\text{sem agulha}}}}$$

$$\therefore H_{\text{est}_{\text{com agulha}}} - H_{\text{est}_{\text{sem agulha}}} + \left( \frac{\alpha_f \times v_{f_{\text{PVC}}}^2}{2g} \right) + H_{P_{\text{total}_{\text{com agulha}}}} - H_{P_{\text{total}_{\text{sem agulha}}}} = 10,5\text{m}$$

$$H_{\text{est}_{\text{com agulha}}} - H_{\text{est}_{\text{sem agulha}}} = 0,9 \text{ m}$$

$$Re_{f_{\text{PVC}}} = 41190 \text{ portanto: } \alpha = 1$$

$$\frac{\alpha_f \times v_{f_{\text{PVC}}}^2}{2g} = 0,0551\text{m}$$



Muito bem!  
Agora já podemos  
determinar a diferença da  
perda de carga com a  
válvula agulha e sem a  
válvula agulha

$$H_{p_{\text{totais com agulha}}} - H_{p_{\text{totais sem agulha}}} = 9,6\text{m}$$

Agora vamos calcular as perdas  
sem a válvula agulha e com a  
válvula agulha.

$$H_{p_{\text{sem agulha}}} = (H_{p_{2'' \text{ aço}}} + H_{p_{1,5'' \text{ aço}}} + H_{p_{1'' \text{ aço}}})_{p/Q=3,74\text{L/s}}$$

Para  $Q = 3,74 \text{ L/s}$ ;  $\rho = 998,9 \text{ kg/m}^3$  e  
 $\nu = 1,11 \text{e-}6 \text{ m}^2/\text{s}$ , temos:

$$f_{2''} = 0,0225$$

$$f_{1,5''} = 0,0228$$

$$f_{1''} = 0,0241$$

$$H_{p_{2''\text{aço}}} = 3,6 \text{ m} \quad H_{p_{1,5''\text{aço}}} = 9,1 \text{ m} \quad H_{p_{1''\text{aço}}} = 0,917 \text{ m}$$

Portanto a perda de carga total com  
agulha será = 23,2 m

O valor acima foi obtido lembrando que a diferença da perda de carga com agulha e sem agulha era 9,6 m, portanto a perda com agulha é obtida somando ao 9,6 m a soma  $(3,6 + 9,1 + 0,917)\text{m}$ .

Isso mesmo!





Agora é só pensar em calcular todas as perdas com a presença da válvula agulha e com a vazão que ela origina!

E depois fica fácil achar o coeficiente de perda localizada ( $K_s$ ) e o comprimento equivalente ( $L_{eq}$ ).



$$H_{p_{\text{com agulha}}} = (H_{p_{2'' \text{ aço}}} + H_{p_{1,5'' \text{ aço}}} + H_{p_{1,5'' \text{ v. agulha}}} + H_{p_{1'' \text{ aço}}} + H_{p_{1,5'' \text{ PVC}}})_{p/Q=1,58 \text{ L/s}}$$

Para  $Q = 1,58 \text{ L/s}$ ;  
 $\rho = 998,9 \text{ kg/m}^3$  e  
 $\nu = 1,11 \text{e-}6 \text{ m}^2/\text{s}$ ,  
temos:

$$f_{2''} = 0,0253$$

$$f_{1,5''} = 0,0251$$

$$f_{1''} = 0,0255$$

$$f_{1,5'' \text{ PVC}} = 0,0258$$

$$H_{p_{2'' \text{ aço}}} = 0,652 \text{ m} \quad H_{p_{1,5'' \text{ aço}}} = 1,8 \text{ m} \quad H_{p_{1'' \text{ aço}}} = 0,173 \text{ m} \quad H_{p_{1,5'' \text{ PVC}}} = 0,230 \text{ m}$$

Portanto a perda na válvula agulha será igual a: 20,3 m

Coeficiente de perda de carga singular da válvula agulha considerando o tubo de aço 40 de 1,5" 273,9

Comprimento equivalente considerando a tubulação de aço 40 de diâmetro nominal de 1,5" 445,2m

Coeficiente de perda de carga singular da válvula agulha considerando o tubo de PVC de 1,5" 369,2

Comprimento equivalente considerando a tubulação de PVC de diâmetro nominal de 1,5" 629,6m

Fórmulas usadas na obtenção das respostas:

$$K_S = \frac{h_S \times 2g}{v^2} \text{ e } Leq = \frac{K_S \times D_H}{f}$$

Tenha acesso a planilha de cálculo no sítio:  
[http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento\\_22010/consulta2.htm](http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_22010/consulta2.htm)

