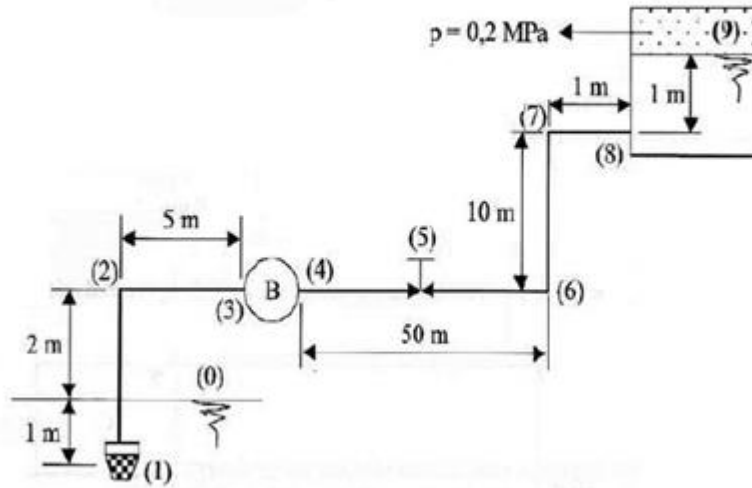


Início esta aula resolvendo o exercício deixado na aula anterior, ou seja:

19^o - Na instalação da figura, determinar a potência da bomba necessária para produzir uma vazão de 10 L/s, (7.18) supondo seu rendimento de 70%. Dados: $D_{inc} = 2,5''$ (6,25 cm); $D_{exc} = 4''$ (10 cm); aço; $v = 10^{-6}$ m²/s; $\gamma = 10^4$ N/m³; $L_{eq1} = 20$ m; $L_{eq2} = 2$ m; $L_{eq5} = L_{eq7} = 1$ m; $k_{s5} = 10$; $k_{s7} = 1$.



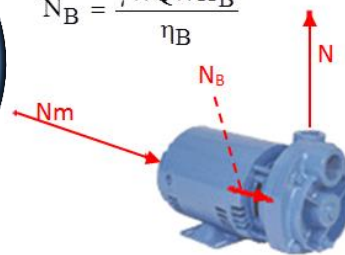
Resp.: 7,2 kW



Vamos iniciar a solução evocando os conceitos de potências e rendimentos

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

$$N_B = \frac{\gamma \times Q \times H_B}{\eta_B}$$



$$N_B = \frac{10000 \times \left(\frac{10}{1000}\right) \times H_B}{0,70}, \text{ portanto devemos calcular a carga manométrica da}$$

bomba e para isto aplicamos a equação da energia da seção inicial e final.

$$H_i + H_B = H_f + H_{p\text{total}}$$

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{y_i \times \alpha_i \times v_i^2}{2g} + H_B = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{y_f \times \alpha_f \times v_f^2}{2g} + H_{p\text{total}}$$

Adotando PHR em (0), trabalhando na escala efetiva e considerando o escoamento em regime permanente, temos:

$$0 + 0 + 0 + H_B = 13 + \frac{0,2 \times 10^6}{10^4} + 0 + H_{P_{total}}$$

$$H_B = 33 + H_{P_{total}}$$

Devemos observar que a carga estática $\left[H_{est} = (z_f - z_i) + \left(\frac{p_f - p_i}{\gamma} \right) = 33m \right]$ é positiva e

isto indica que não existe o escoamento por gravidade, portanto há a necessidade de bomba hidráulica para que haja o escoamento.

$$H_{P_{total}} = H_{PaB} + H_{PdB} = H_{p4''} + H_{p2,5''}$$

$$H_{p4''} = f_{4''} \times \frac{(8 + 20 + 2)}{0,1} \times \frac{(10 \times 10^{-3})^2}{2 \times 9,8 \times \left(\frac{\pi \times 0,1^2}{4} \right)^2} \cong 24,8133511 \times f_{4''}$$

Vamos obter o coeficiente de perda de carga distribuída pela página: [“Determinação do f, por Haaland, Swamee e Jain, Churchill e planilha”](#) $f_{4''} \cong 0,0196 \Rightarrow H_{p4''} \cong 0,487m$.

$$H_{p2,5''} = f_{2,5''} \times \frac{(61 + 1 + 1)}{0,0625} \times \frac{(10 \times 10^{-3})^2}{2 \times 9,8 \times \left(\frac{\pi \times 0,0625^2}{4} \right)^2} + (10 + 1) \times \frac{(10 \times 10^{-3})^2}{2 \times 9,8 \times \left(\frac{\pi \times 0,0625^2}{4} \right)^2}$$

$$H_{p2,5''} \cong 546,3923732 \times f_{2,5''} + 5,962615184$$

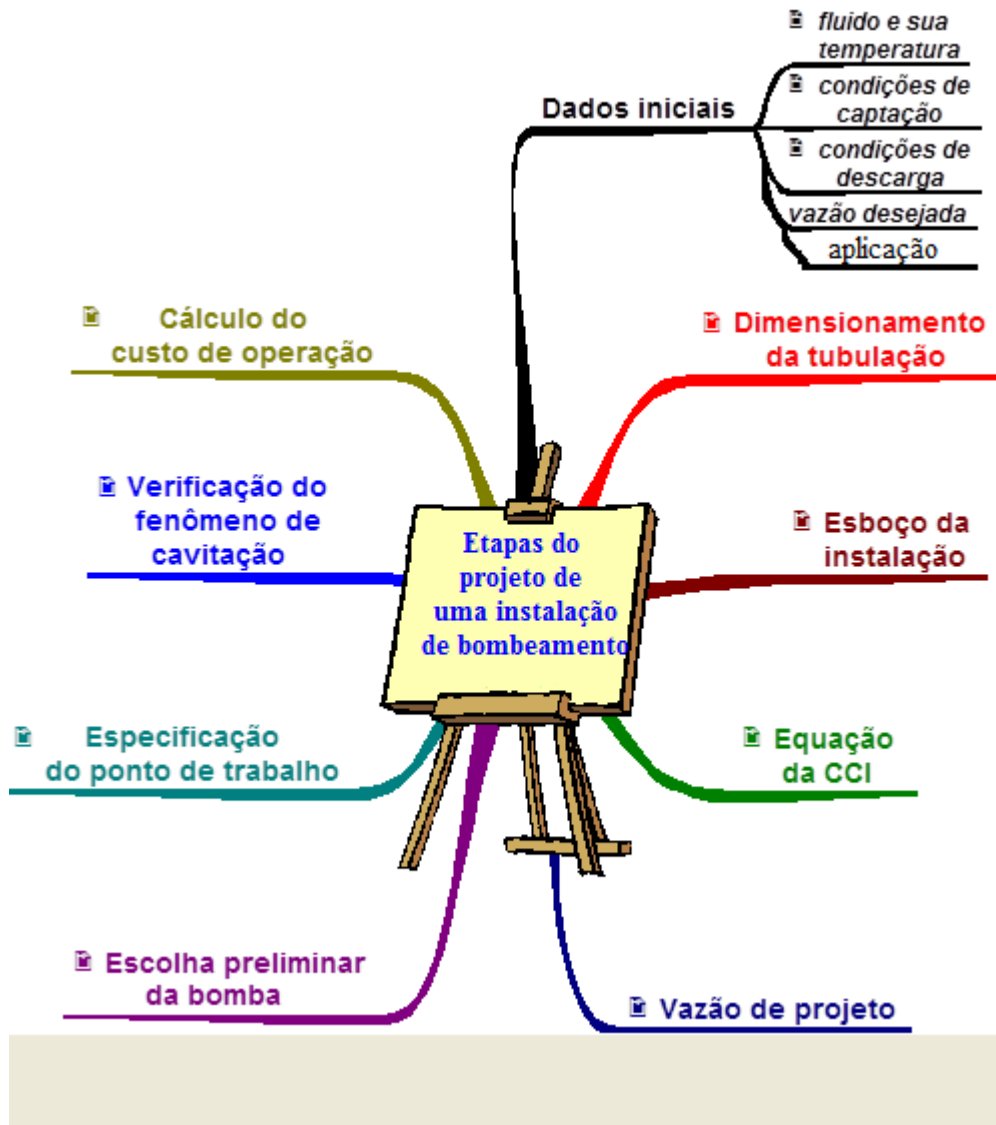
Obtemos novamente o coeficiente de perda de carga distribuída pela página: [“Determinação do f, por Haaland, Swamee e Jain, Churchill e planilha”](#) $f_{2,5''} \cong 0,0201 \Rightarrow H_{p2,5''} \cong 17m$.

$$H_B = 33 + 0,487 + 17 = 50,5m$$

$$N_B = \frac{10000 \times \left(\frac{10}{1000} \right) \times 50,5}{0,7} \cong 7214,3W$$



Vamos considerar este exercício como sendo o nosso primeiro projeto e aonde estaremos introduzindo as suas etapas e desenvolvendo algumas delas.



1. Dados iniciais

- a. Vazão desejada igual a 10 L/s
- b. Instalação para serviços gerais
- c. Fluido: água a 20°C:

$$\rho_{\text{água}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; v_{\text{água}} = 1,004 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; \mu_{\text{água}} = 10^{-3} \frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

- d. Condições de captação com o PHR adotado na mesma:
 $H_i = 0 + 0 + 0 = 0$

- e. Condições de distribuição com o mesmo PHR:
 $H_f = 13 + \frac{0,2 \times 10^6}{998,2 \times 9,8} + 0 \cong 33,5\text{m}$

2. Dimensionamento da tubulação

- a. As velocidades econômicas recomendadas para a instalação que será projetada para serviços gerais lidas na página: [“Material importante para consulta no desenvolvimento de projetos e avaliações oficiais \(P1,P2 …\)”](#) são:

$$0,9 \leq v_{ec} \leq 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ adotamos a velocidade } 2,0 \text{ m/s}$$

- b. Iniciamos dimensionamento pela tubulação de recalque:

$$10 \times 10^{-3} = 2 \times \frac{\pi \times D_{ref}^2}{4} \Rightarrow D_{ref} = 79,8\text{mm}$$

e a tubulação mais usada é o aço

Consultando a norma ANSI B3610, temos:

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 (cm²)	Área da seção de metal (cm²)	Superfície externa (m²/m)	Peso aproximado (kg/m)		Momento de inércia (cm⁴)	Momento resistente (cm³)	Raio de giração (cm)
							Tubo vazio (Nota 5)	Conteúdo de água			
3	10S	3,05	82,8	53,9	8,22	0,282	6,44	5,39	75,84	17,06	3,04
	Std. 40, 40S	5,48	77,9	47,7	14,4		11,28	4,77	125,70	28,26	2,96
	XS, 80, 80S	7,62	73,6	42,6	19,5		15,25	4,26	162,33	36,48	2,89
89	160	11,1	66,7	34,9	27,2	21,31	3,49	209,36	47,14	2,78	
	XXS	15,2	58,4	26,8	35,3	27,65	2,68	249,32	56,22	2,66	

$D_{ref} = 79,8 \text{ mm}$ que foi calculado para o recalque

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
114	160	13,5	87,3	59,9	42,7	33,49	5,99	552,34	96,70	3,60	
	XXS	17,1	80,1	50,3	52,3	40,98	5,03	636,42	111,29	3,49	

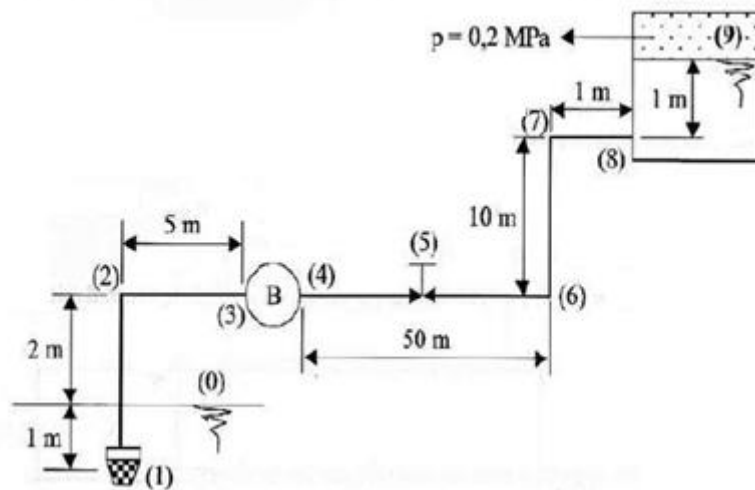
Como estaremos trabalhando com o aço espessura 40, optamos para o recalque:

$$D_N = 3'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 77,9\text{mm} \rightarrow A = 47,7\text{cm}^2$$

- c. Para a tubulação antes da bomba optamos por um diâmetro imediatamente superior para diminuir a probabilidade de ocorrer o fenômeno de cavitação, portanto:

$$D_N = 4'' \Rightarrow D_{\text{int}} = 102,3\text{mm} \rightarrow A = 82,1\text{cm}^2$$

3. Esboço da instalação com a finalidade de estabelecer os comprimentos da tubulação, os seus acessórios com os comprimentos equivalentes e as suas cotas.



- (1) Válvula de poço ou válvula de pé com crivo da Mipel - $Leq_1 = 42,65\text{m}$
- (2) Joelho fêmea de 90° da Tupy - $Leq_2 = 3,76\text{m}$
- (3) Seção de entrada da bomba
- (4) Seção de saída da bomba
- (5) Válvula globo reta sem guia da Mipel- $Leq_5 = 25,90\text{m}$
- (6) Joelho fêmea de 90° da Tupy - $Leq_6 = 2,82\text{m}$
- (7) Joelho fêmea de 90° da Tupy - $Leq_7 = 2,82\text{m}$
- (8) Saída de tubulação (entrada de reservatório) - $Leq_8 = 2,2\text{m}$

4. Obtenção da equação da CCI (Curva Característica da Instalação) que indica a carga necessária do sistema para que o fluido considerado o percorra com uma vazão Q

Para obter a CCI aplicamos a equação da energia da seção inicial a final e a deixamos em função dos coeficientes de perda de carga distribuída e em função da vazão, portanto:

$$H_{\text{inicial}} + H_{\text{Sistema}} = H_{\text{final}} + H_{\text{ptotal}}$$

$$0 + H_S = 33,5 + H_{p4''} + H_{p3''}$$

$$H_{p4''} = f_{4''} \times \frac{(8 + 42,65 + 3,76)}{102,3 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (82,1 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p4''} = f_{4''} \times 402587,9 \times Q^2$$

$$H_{p3''} = f_{3''} \times \frac{(61 + 25,9 + 2 \times 2,82 + 2,2)}{77,9 \times 10^{-3}} \times \frac{Q^2}{19,6 \times (47,7 \times 10^{-4})^2}$$

$$H_{p3''} = f_{3''} \times 2727112,8 \times Q^2$$

$$H_S = 33,5 + f_{4''} \times 402587,9 \times Q^2 + f_{3''} \times 2727112,8 \times Q^2 \Rightarrow \text{CCI}$$

5. Determinação da vazão de projeto

A vazão de projeto é obtida multiplicando-se a vazão desejada por um fator de segurança, o qual é **no mínimo igual a 1,1**, portanto:

$$Q_{\text{projeto}} = 1,1 \times Q_{\text{desejada}} = 1,1 \times 10 = 11 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 39,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

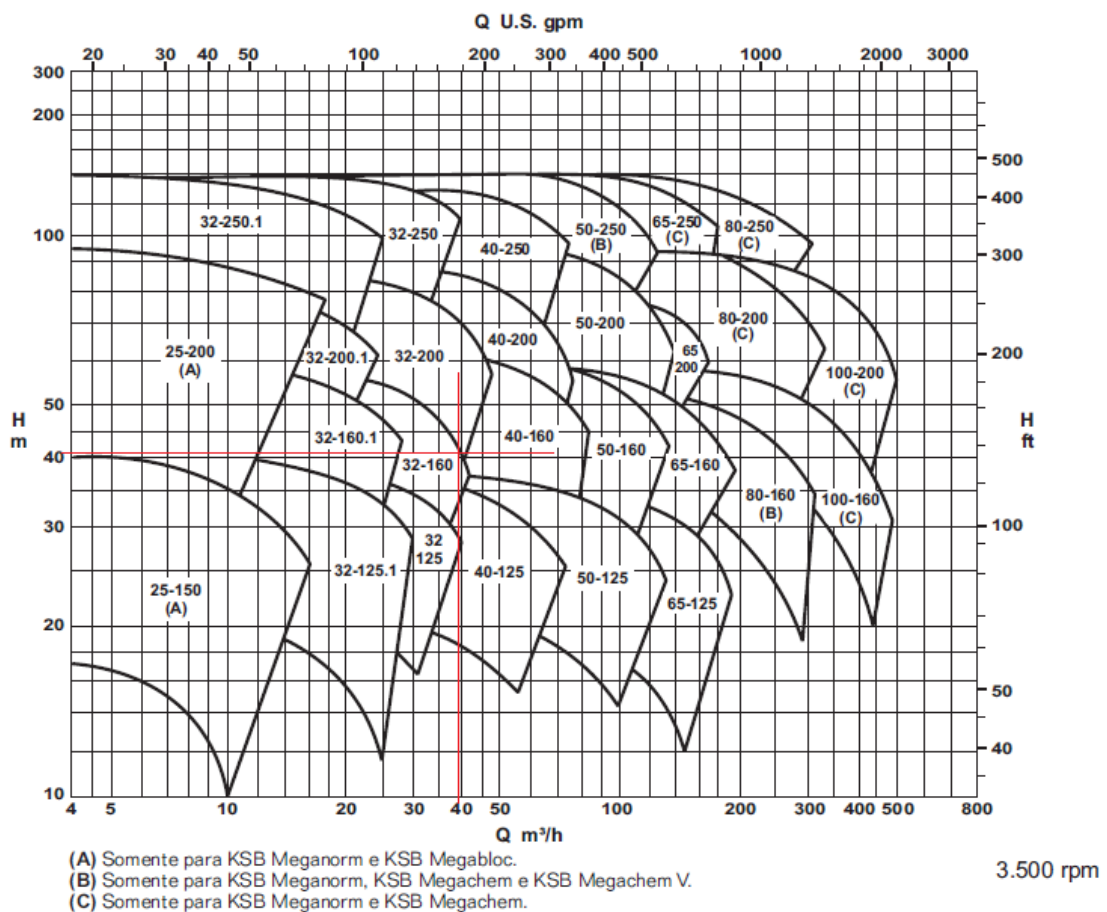
6. Escolha preliminar da bomba

- a. Calculamos a carga manométrica de projeto através da vazão de projeto utilizada na equação da CCI, portanto:

$$H_S = 33,5 + 0,0194 \times 402587,9 \times (11 \times 10^{-3})^2 + 0,0196 \times 2727112,8 \times (11 \times 10^{-3})^2$$

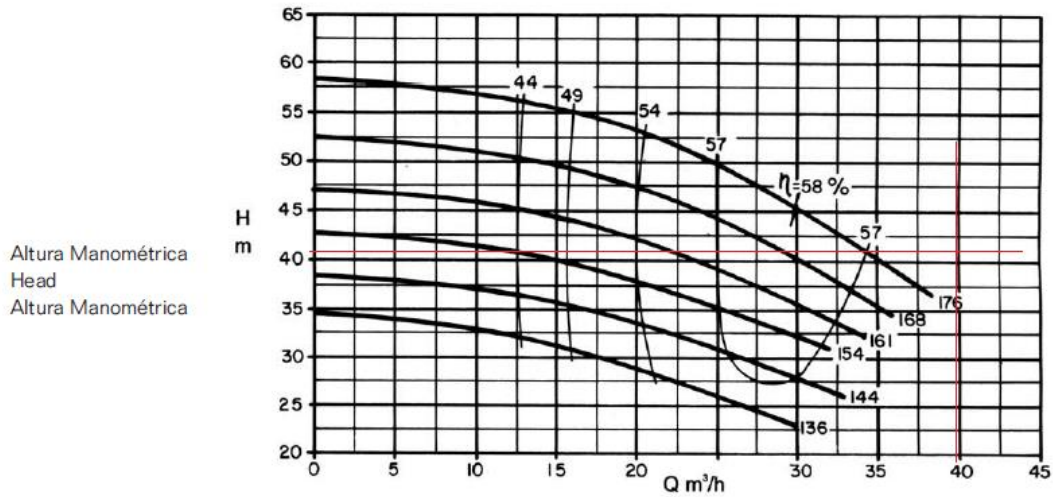
$$H_S \cong 41\text{m} = H_{B_{\text{projeto}}}$$

- b. Escolha do fabricante, por exemplo, KSB.

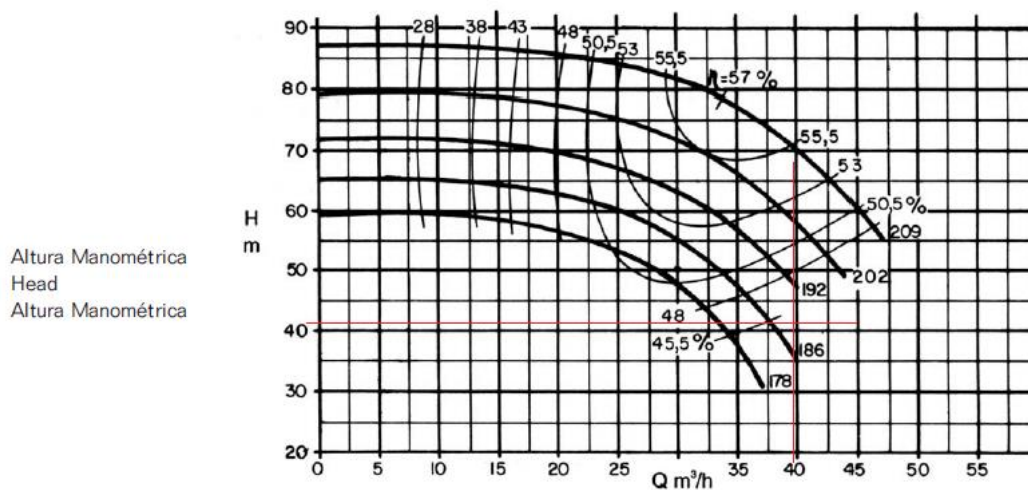


De princípio para a KSB 3500 rpm, poderíamos pensar na 32-160; 32-200 e na 40-160, vamos verificar cada uma delas.

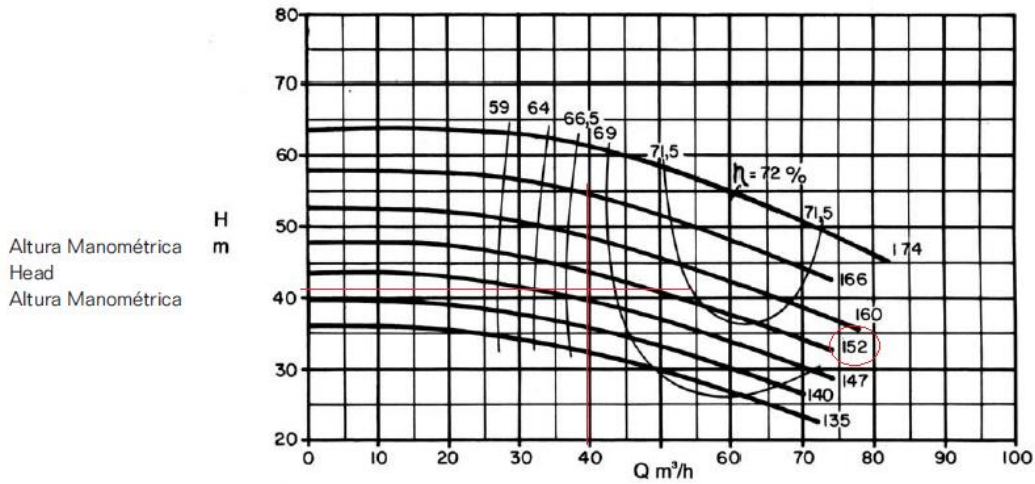
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	32-160	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



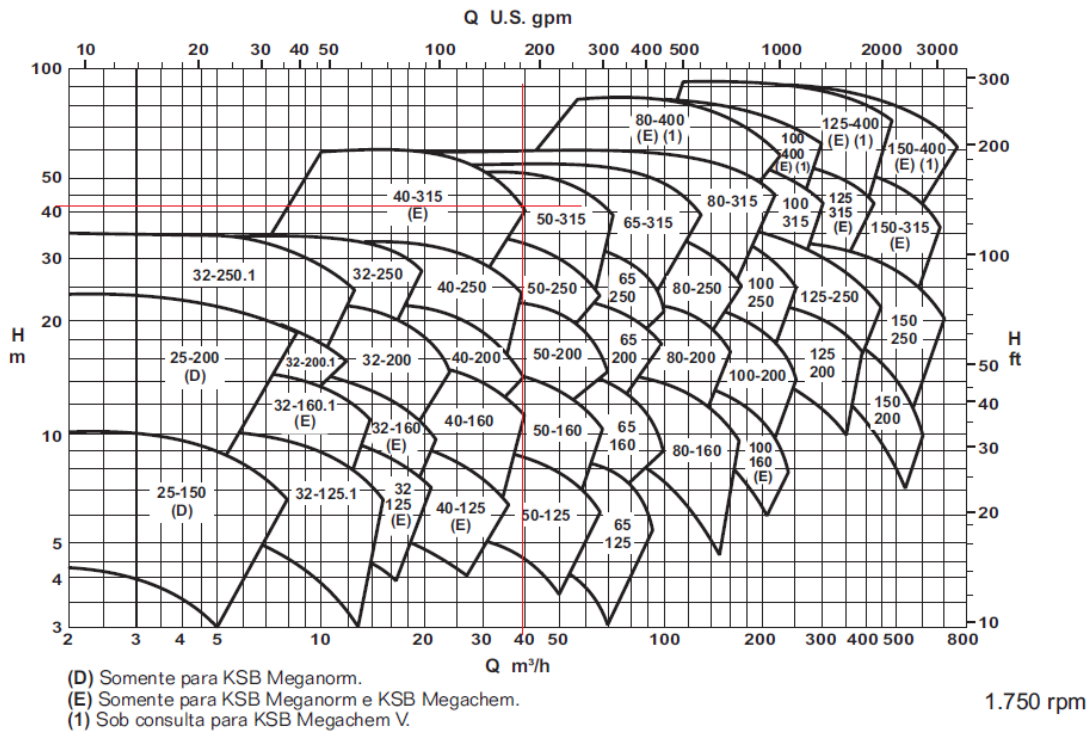
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	32-200	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-160	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	

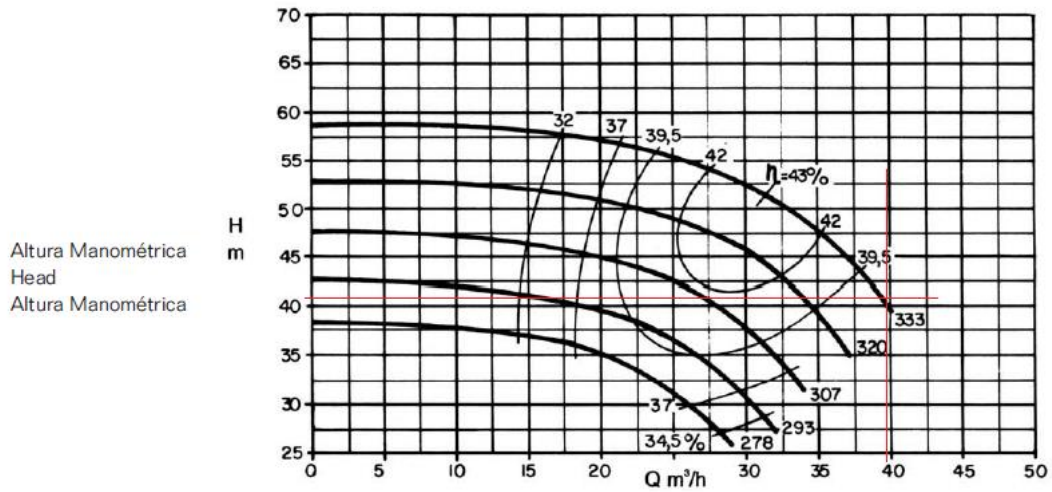


Analisando as curvas anteriores optamos para a KSB de 3500 rpm pela **40-160**.

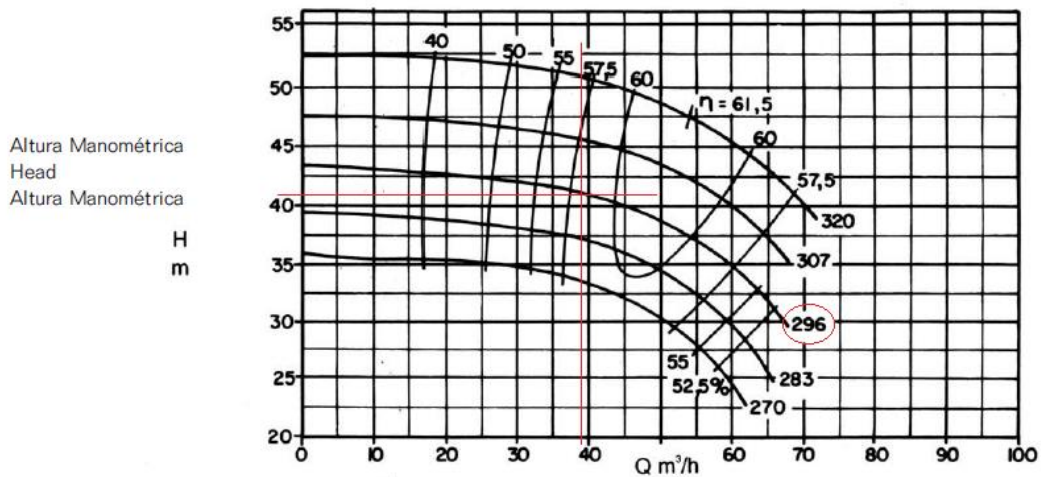


De princípio para a KSB 1750 rpm, poderíamos pensar na 40-315, 50-315 e na 65-315, vamos verificar cada uma delas.

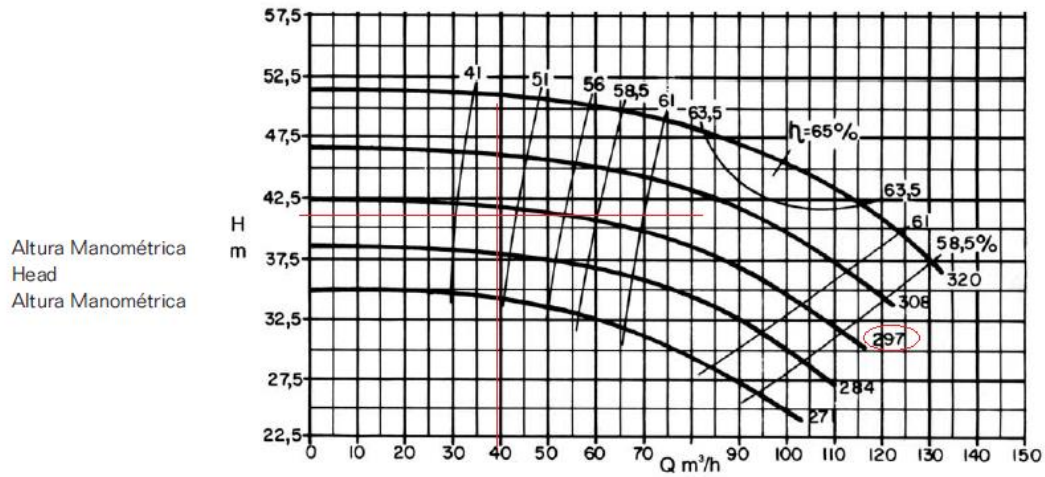
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-315	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	1750 rpm	



Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	50-315	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	1750 rpm	



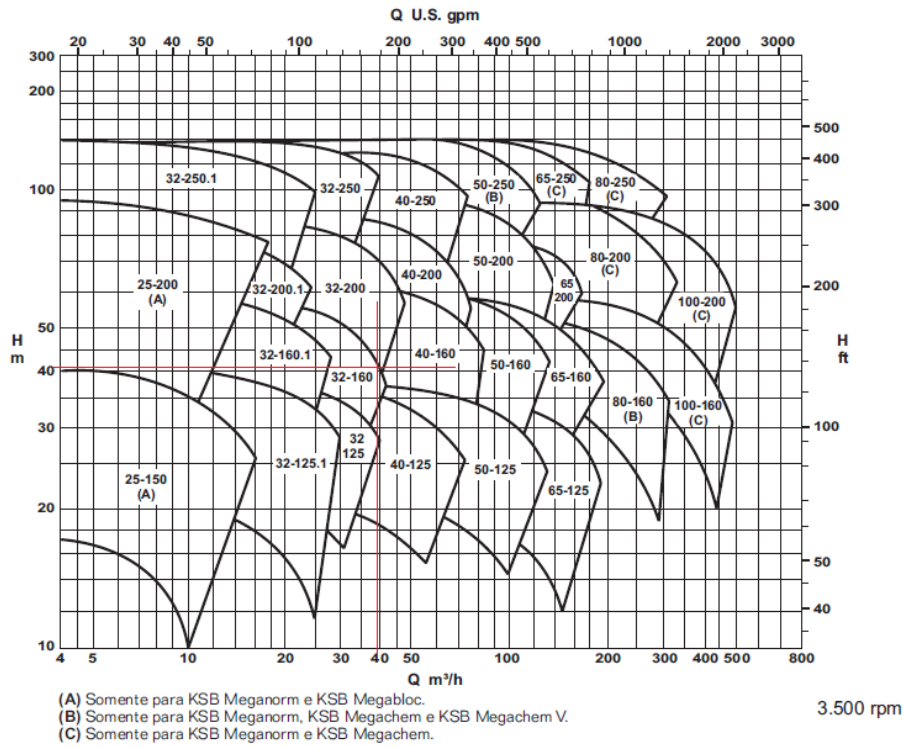
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	65-315	
Oferta n° Project - No. Oferta - n°	Item n° Item - No. Pos - n°	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	1750 rpm	



Analisando as curvas anteriores optamos para a KSB de 1750 rpm pela **50-315**.

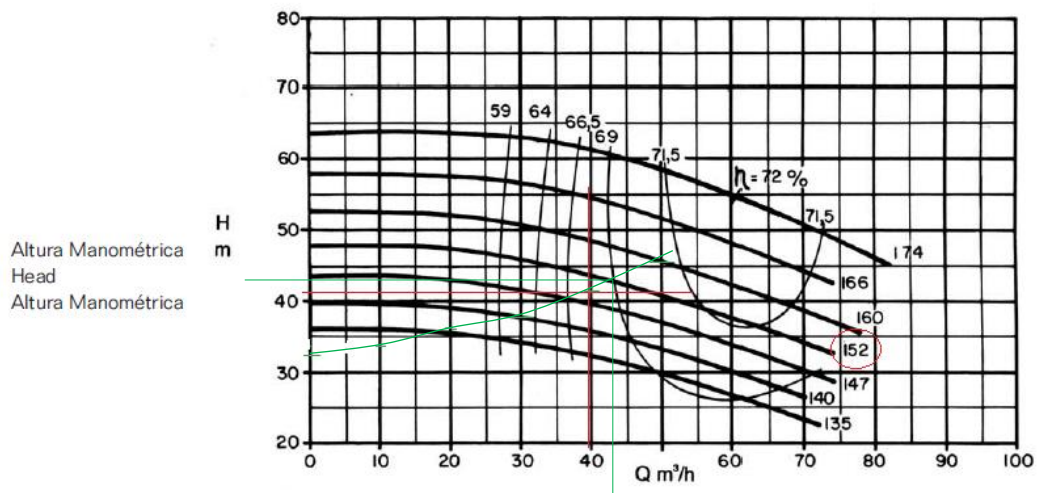
7. Especificação do ponto de trabalho que é obtido no cruzamento da CCI com a CCB ($H_B = H_S$)

Vamos efetuar esta especificação para a bomba da KSB de 3500 rpm 40-160.



a. Ponto de trabalho obtido traçando a CCI sobre a curva do fabricante

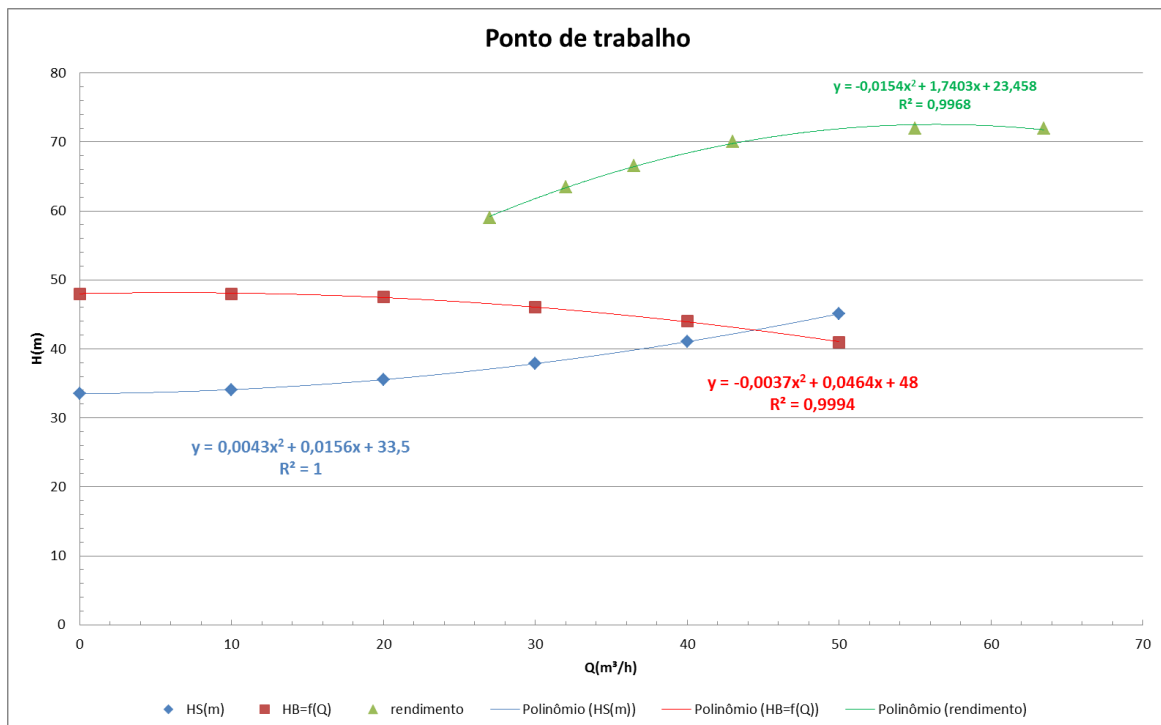
Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-160	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



$$Q_{\tau} = 44 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}; H_{B\tau} = 43; \eta_{B\tau} = 69\% \therefore N_B = \frac{998,2 \times 9,8 \times 44 \times 43}{0,69 \times 3600} \cong 7451 \text{W}$$

b. Obtida recorrendo ao Excel para tal devemos ler os valores de $H_B = f(Q)$ e $\eta_B = f(Q)$ e calcular o $H_S = f(Q)$ para as mesmas vazões

Q(m³/h)	f3"	f4"	HS(m)	HB(m)		Q(m³/h)	$\eta_B(\%)$
0	0	0	33,5	48		27	59
10	0,0233	0,0240	34,1	48		32	63,5
20	0,0211	0,0213	35,5	47,5		36,5	66,5
30	0,0201	0,0201	37,9	46		43	70
40	0,0196	0,0194	41,1	44		55	72
50	0,0192	0,0189	45,1	41		63,5	72



$$H_S = 0,0043 \times Q^2 + 0,0156 \times Q + 33,5$$

$$H_B = -0,0037 \times Q^2 + 0,0464 \times Q + 48$$

$$0,0043 \times Q^2 + 0,0156 \times Q + 33,5 = -0,0037 \times Q^2 + 0,0464 \times Q + 48$$

$$8 \times 10^{-3} \times Q^2 - 0,0308 \times Q - 14,5 = 0$$

$$Q_\tau = \frac{0,0308 + \sqrt{0,0308^2 + 4 \times 8 \times 10^{-3} \times 14,5}}{2 \times 8 \times 10^{-3}} \cong 44,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H_{B_\tau} = 0,0043 \times 44,5^2 + 0,0156 \times 44,5 + 33,5 \cong 42,7\text{m}$$

$$\eta_{B_\tau} = -0,0154 \times 44,5^2 + 1,7403 \times 44,5 + 23,458 \cong 70,4\%$$

$$\therefore N_B = \frac{998,2 \times 9,8 \times 44,5 \times 42,7}{0,704 \times 3600} \cong 7334,3\text{W}$$