1 - MEMORIAL DE CÁLCULO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

1.1 - Dados de Projeto:

- Vazão média de início de plano:

$Qi = 289.00$ l/s

- Vazão máxima horária de final de plano:

$Qf = 613.39$ l/s

- Desnível geométrico (ΔHg):

Cota da chegada do recalque: $Ct = 466.300$ m

Cota do NAmín no poço de sucção: $NAmín = 459.500$ m

Cota do NAmáx no poço de sucção: $NAmáx = 460.600$ m

$\Delta Hgmín := Ct - NAmáx$

$\Delta Hgmín = 5.700$ m

$\Delta Hgmáx := Ct - NAmín$

$\Delta Hgmáx = 6.800$ m

- Extensão das tubulações

Sucção: $Ls = 1.70$ m

Barrilete1: $Lb1 = 4.70$ m

Barrilete2: $Lb2 = 1.50$ m

Linha de recalque: $Lr = 134.00$ m

- Número de conjuntos de recalque operando simultaneamente:

$Nbombas = 3$ cj (3b + 1r)

1.2 - Determinação dos Diâmetros da Linha de Recalque e do Barrilete

$Q := Qf$ $\qquad Q = 613.39$ l/s

$\phi s = 400$ mm $\Rightarrow$ $$Vs := \frac{\frac{Q}{Nbombas}\cdot 4}{\pi\cdot\left(\frac{\phi s}{1000}\right)^2\cdot 1000}$$ $\Rightarrow$ $Vs = 1.627 \; \frac{m}{s}$

$0,60 < V_s < 1,60 \quad \therefore$ OK!

$\phi b = 400$ mm $\Rightarrow$ $$Vb := \frac{\frac{Q}{Nbombas}\cdot 4}{\pi\cdot\left(\frac{\phi b}{1000}\right)^2\cdot 1000}$$ $\Rightarrow$ $Vb = 1.627 \; \frac{m}{s}$

$0,60 < V_b < 3,00 \quad \therefore$ OK!

$\phi r = 600$ mm $\Rightarrow$ $$Vr := \frac{Q\cdot 4}{\pi\cdot\left(\frac{\phi r}{1000}\right)^2\cdot 1000}$$ $\Rightarrow$ $Vr = 2.169 \; \frac{m}{s}$

$0,60 < V_r < 3,00 \quad \therefore$ OK!

1.3 - Seleção do Conjunto Motor-Bomba

1.3.1 - Curva Característica do Sistema

1.3.1.1 - Cálculo das Perdas de Carga (ΔH_t)

As perdas de carga serão calculadas pela Fórmula Universal onde:

$k = 0.0002$ m (rugosidade uniforme equivalente para tubos de ferro fundido com revestimento interno de argamassa de cimento e areia)

- Perdas de Carga Localizadas (λ)

- Na Sucção (λs)

Entrada de tubulação:

$n_1 = 1$

$j_1 := 1.00$

$K_1 := n_1 \cdot j_1$

$K_1 = 1$

Crivo:

$n_2 = 0$

$j_2 := 0.75$

$K_2 := n_2 \cdot j_2$

$K_2 = 0$

Válvula Gaveta:

$n_3 = 1$

$j_3 := 0.20$

$K_3 := n_3 \cdot j_3$

$K_3 = 0.2$

Redução Excêntrica :

$n_4 = 1$

$j_4 := 0.15 \cdot \left(\dfrac{\phi s}{\phi entrada\_da\_bomba} \right)^4$

$K_4 := n_4 \cdot j_4$

$K_4 = 0.474$

Desta maneira, tem-se:

$Ks := \sum_{i=1}^{4} K_i \qquad Ks = 1.674$

$$\lambda s(Q) := \frac{Ks \cdot \left[\dfrac{\dfrac{Q}{Nbombas}}{1000} \cdot \dfrac{4}{\pi \cdot \left(\dfrac{\phi s}{1000} \right)^2} \right]^2}{2 \cdot 9.81}$$

- No Barrilete 1 (λb1)

Ampliação Concêntrica:

$\phi saída\_da\_bomba = 300$

$n_5 = 1$

$j_5 := 0.30 \cdot \left(\dfrac{\phi b}{\phi saída\_da\_bomba} \right)^4$

$K_5 := n_5 \cdot j_5$

$K_5 = 0.948$

Válvula de Retenção:

$n_6 = 1$

$j_6 := 2.5$

$K_6 := n_6 \cdot j_6$

$K_6 = 2.5$

Curva 90º:

$n_7 = 2$

$j_7 := 0.40$

$K_7 := n_7 \cdot j_7$

$K_7 = 0.8$

Válvula Borboleta:

$n_8 = 1$

$j_8 := 0.30$

$K_8 := n_8 \cdot j_8$

$K_8 = 0.3$

Tê Entrada Lateral :

$n_9 = 1$

$j_9 := 0.90$

$K_9 := n_9 \cdot j_9$

$K_9 = 0.9$

Desta maneira, tem-se:

$$Kb1 := \sum_{i=5}^{9} K_i \qquad Kb1 = 5.448$$

$$\lambda b1(Q) := \frac{Kb1 \cdot \left[\frac{\frac{Q}{Nbombas}}{1000} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \left(\frac{\phi b}{1000}\right)^2}\right]^2}{2 \cdot 9.81}$$

- *No Barrilete 2* (*λb2*)

Tê Passagem Direta 1:

$n_{10} = 2$

$j_{10} := 0.40$

$K_{10} := n_{10} \cdot j_{10}$

$K_{10} = 0.8$

Tê Passagem Direta 2:

$n_{11} = 1$

$j_{11} := 0.25$

$K_{11} := n_{11} \cdot j_{11}$

$K_{11} = 0.25$

Tê Passagem Direta 3:

$n_{12} = 1$

$j_{12} := 0.60$

$K_{12} := n_{12} \cdot j_{12}$

$K_{12} = 0.6$

Desta maneira, tem-se:

$$\lambda b2(Q) := \frac{K_{10} \cdot \left[\frac{\frac{Q}{Nbombas}}{1000} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \left(\frac{\phi r}{1000}\right)^2}\right]^2}{2 \cdot 9.81} + \frac{K_{11} \cdot \left[\frac{\frac{2 \cdot Q}{Nbombas}}{1000} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \left(\frac{\phi r}{1000}\right)^2}\right]^2}{2 \cdot 9.81} + \frac{K_{12} \cdot \left[\frac{Q}{1000} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \left(\frac{\phi r}{1000}\right)^2}\right]^2}{2 \cdot 9.81}$$

- *Na Linha de Recalque (λr)*

Curva 90º:

$n_{13} = 4$

$j_{13} := 0.20$

$K_{13} := n_{13} \cdot j_{13}$

$K_{13} = 0.8$

Curva 45º':

$n_{14} = 0$

$j_{14} := 0.10$

$K_{14} := n_{14} \cdot j_{14}$

$K_{14} = 0$

Saída de tubulação:

$n_{15} = 1$

$j_{15} := 1.00$

$K_{15} := n_{15} \cdot j_{15}$

$K_{15} = 1$

Desta maneira, tem-se:

$$Kr := \sum_{i=13}^{15} K_i \qquad Kr = 1.8$$

$$\lambda r(Q) := \frac{Kr \cdot \left[\frac{Q}{1000} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \left(\frac{\phi r}{1000} \right)^2} \right]^2}{2 \cdot 9.81}$$

Portanto, a perda de carga localizada total é dada por:

$$\lambda t(Q) := \lambda s(Q) + \lambda b1(Q) + \lambda b2(Q) + \lambda r(Q)$$

- Perdas de Carga Distribuídas (Δh_t)

- *Perdas de Carga Distribuídas na Sucção (Δh_S)*

$$\Delta hs(Q) := \frac{8 \cdot fs(Q) \cdot Ls \cdot \left(\frac{\frac{Q}{Nbombas}}{1000} \right)^2}{9.81 \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{\phi s}{1000} \right)^5}$$

onde:

$$fs = \frac{64}{Rs} \qquad (R<2000)$$

$$\frac{1}{\sqrt{fs}} = -2\cdot\log\left(\frac{k}{3.7\cdot\phi s} + \frac{2.51}{Rs\cdot\sqrt{fs}}\right) \qquad (R>5x10^3)$$

- *Perdas de Carga Distribuídas no Barrilete* (*Δh_b*)

$$\Delta hb(Q) := \frac{8\cdot fb1(Q)\cdot Lb1\cdot\left(\frac{\frac{Q}{Nbombas}}{1000}\right)^2}{9.81\cdot\pi^2\cdot\left(\frac{\phi b}{1000}\right)^5} + \frac{8\cdot fb2(Q)\cdot Lb2\cdot\left(\frac{\frac{2\cdot Q}{Nbombas}}{1000}\right)^2}{9.81\cdot\pi^2\cdot\left(\frac{\phi r}{1000}\right)^5} + \frac{8\cdot fb3(Q)\cdot Lb2\cdot\left(\frac{Q}{1000}\right)^2}{9.81\cdot\pi^2\cdot\left(\frac{\phi r}{1000}\right)^5}$$

onde:

$$fb = \frac{64}{Rb} \qquad (R<2000)$$

$$\frac{1}{\sqrt{fb}} = -2\cdot\log\left(\frac{k}{3.7\cdot\phi b} + \frac{2.51}{Rb\cdot\sqrt{fb}}\right) \qquad (R>5x10^3)$$

- *Perdas de Carga Distribuídas no Recalque* (*Δhr_r*)

$$\Delta hr(Q) := \frac{8\cdot fr(Q)\cdot Lr\cdot\left(\frac{Q}{1000}\right)^2}{9.81\cdot\pi^2\cdot\left(\frac{\phi r}{1000}\right)^5}$$

onde:

$$fr = \frac{64}{Rr} \qquad (R<2000)$$

$$\frac{1}{\sqrt{fr}} = -2\cdot\log\left(\frac{k}{3.7\cdot\phi} + \frac{2.51}{Rr\cdot\sqrt{fr}}\right) \qquad (R>5x10^3)$$

A perda de carga distribuída total é dada por:

$$\Delta ht(Q) := \Delta hb(Q) + \Delta hr(Q) + \Delta hs(Q)$$

A perda de carga total é expressa por:

$$\Delta Ht(Q) := \Delta ht(Q) + \lambda t(Q)$$

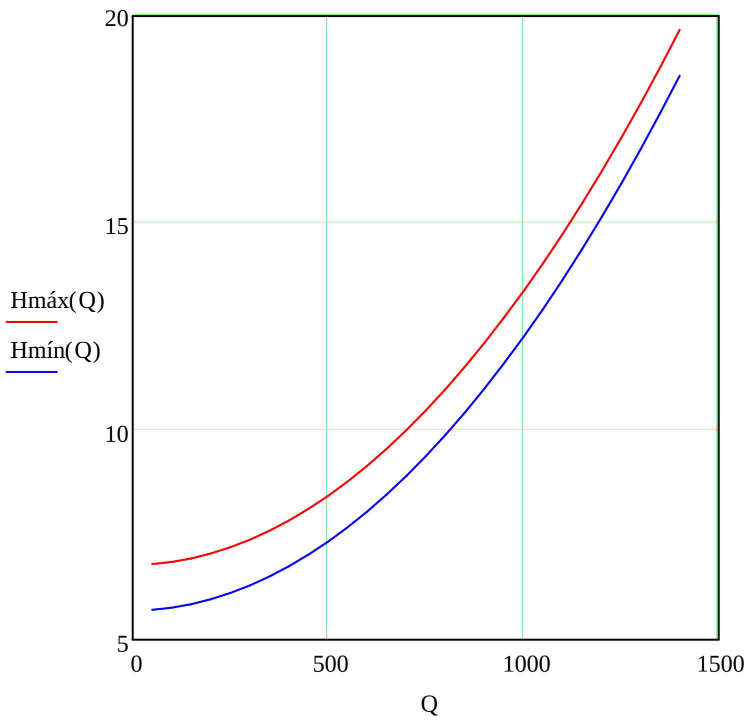
Logo as curvas do sistema serão:

$$Hmáx(Q) := \Delta Hgmáx + \Delta Ht(Q)$$

$$Hmín(Q) := \Delta Hgmín + \Delta Ht(Q)$$

$$Q := 50, 100 .. 1400$$

Q =	Hmáx(Q) =	Hmín(Q) =
50	6.82	5.72
100	6.87	5.77
150	6.95	5.85
200	7.07	5.97
250	7.22	6.12
300	7.40	6.30
350	7.62	6.52
400	7.86	6.76
450	8.14	7.04
500	8.46	7.36
550	8.80	7.70
600	9.18	8.08
650	9.59	8.49
700	10.03	8.93
750	10.51	9.41
800	11.02	9.92
850	11.56	10.46
900	12.13	11.03
950	12.74	11.64
1000	13.38	12.28
1050	14.05	12.95
1100	14.75	13.65
1150	15.49	14.39
1200	16.26	15.16
1250	17.06	15.96
1300	17.90	16.80
1350	18.76	17.66
1400	19.66	18.56



1.3.2 - Pontos Operacionais do Conjunto Motor-Bomba

Os conjuntos motor-bomba deverão operar dentro dos seguintes pontos operacionais:

$Q1 = 613.39$ l/s (conjuntos em paralelo) $Q2 = 674.73$ l/s

$Hmáx(Q1) = 9.29$ m.c.a $Hmín(Q2) = 8.71$ m.c.a

$\eta_1 = 0.70$ $\eta_2 = 0.70$

$$P1 := \frac{Q1 \cdot Hmáx(Q1) \cdot \gamma}{\eta_1 \cdot 1 \cdot 10^6} \qquad P2 := \frac{Q2 \cdot Hmín(Q2) \cdot \gamma}{\eta_2 \cdot 1 \cdot 10^6}$$

$P1 = 81.38$ kW (conjuntos em paralelo) $P2 = 83.91$ kW

Ao final desta memória, apresenta-se uma curva de bomba que atende aos pontos requeridos

1.3.2 - Cálculo do NPSH Disponível

$\Sigma\Delta Hs := \lambda s(Qoper) + \Delta hs(Qoper)$ (perda de carga na sucção)

$\Sigma\Delta Hs = 0.29$ m.c.a.

$Hg\_s = 0.65$ m.c.a. (desnível entre o NA do poço de sucção e o eixo da bomba)

$Patm = 9.50$ m.c.a. (pressão atmosférica na área da captação)

$Pvapor = 0.323$ m.c.a. (pressão de vapor para 25ºC)

$NPSHdisp := Hg\_s + Patm - Pvapor - \Sigma\Delta Hs$

$NPSHdisp = 9.54$ m.c.a. **(a bomba escolhida deverá requerer valores de NPSH inferiores ao NPSHdisp)**

1.4 - Dimensionamento do Poço de Sucção

1.4.1 - Determinação do Volume Útil (Vu)

Sendo:

$T = 10\ \text{min}$ $\quad Qb := \dfrac{Q2}{Nbombas}$ (vazão de 1 bomba em operação simultânea) $\quad Qb = 224.91\ \text{l/s}$

$Vu := \dfrac{Qb \cdot T \cdot 60}{4 \cdot 1000}$ $\quad Vu = 33.736\ m^3$

Adotando-se poço com seção retangular de largura $Lp = 7.00$ m e com lâmina líquida útil de $\Delta Hu = 1.1$ m, tem-se:

$V = (Lp \cdot Cp) \cdot \Delta Hu = Vu$ $\quad Cp := \dfrac{Vu}{Lp \cdot \Delta Hu}$ $\quad Cp = 4.381$

Adota-se $Cp = 4.50$ m, logo:

$Vt := Lp \cdot Cp \cdot \Delta Hu$ $\quad Vt = 34.65\ \text{m3}$ (Volume total)

$Vpar := Lpar \cdot \Delta Hu \cdot 0.10$ $\quad Vpar = 0.77\ m^3$ (Volume da parede de dissipação)

$Vup := (Vt - Vpar)$ $\quad Vup = 33.88\ m^3$ **Vup > Vu OK!**

1.4.2 - Verificação do Tempo de Detenção (Td)

Sendo:

$Ve := \left(\dfrac{\Delta Hu}{2} + \Delta m\right) \cdot Lp \cdot Cp$ $\quad Ve = 33.075\ m^3$ (Volume efetivo)

$Qm := Qi$ $\quad Qm = 289\ \text{l/s}$,tem-se:

$Td := \dfrac{Ve \cdot 1000}{Qm \cdot 60}$ $\quad Td = 1.907$ minutos **Td < 30 minutos ∴ OK!**

1.4.3 - Verificação do Número Máximo de Partidas das Bombas (Nmáx)

Para Nmáx, o valor da vazão afluente deverá ser de:

$Qa := \dfrac{Qb}{2}$ (Vazão afluente crítica na elevatória) $\quad Qa = 112.455\ \text{l/s}$

$Nmáx := \dfrac{3600 \cdot Qb}{4 \cdot Vup \cdot 1000}$ $\quad Qb = 224.91\ \text{l/s}$ $\quad Vup = 33.88\ m^3$

$Nmáx = 5.975\ \dfrac{\text{partidas}}{\text{hora}}$ **Nmáx < 10 OK!**