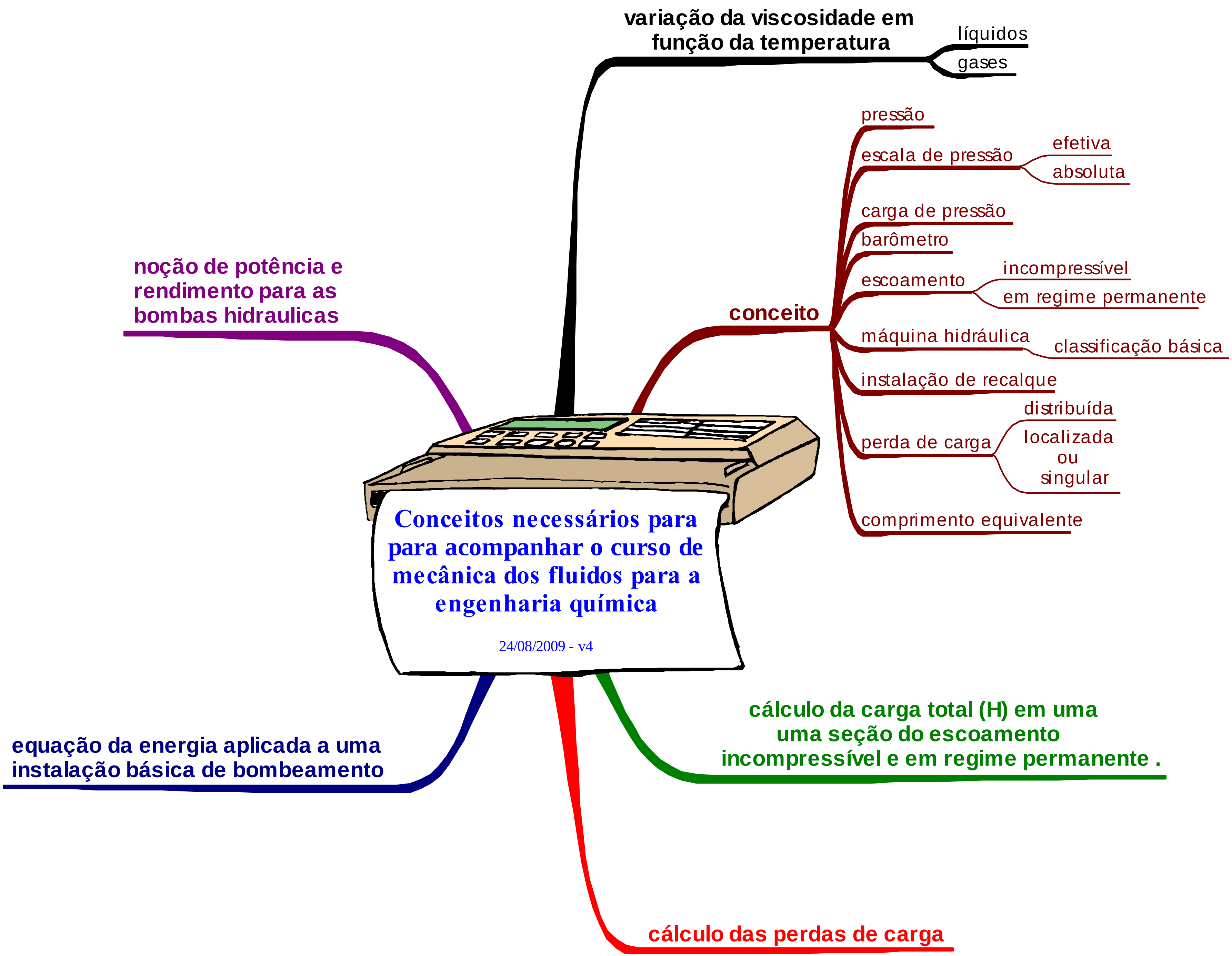
Mecânica dos Fluidos para Engenharia Química

ME5330

01/09/2009

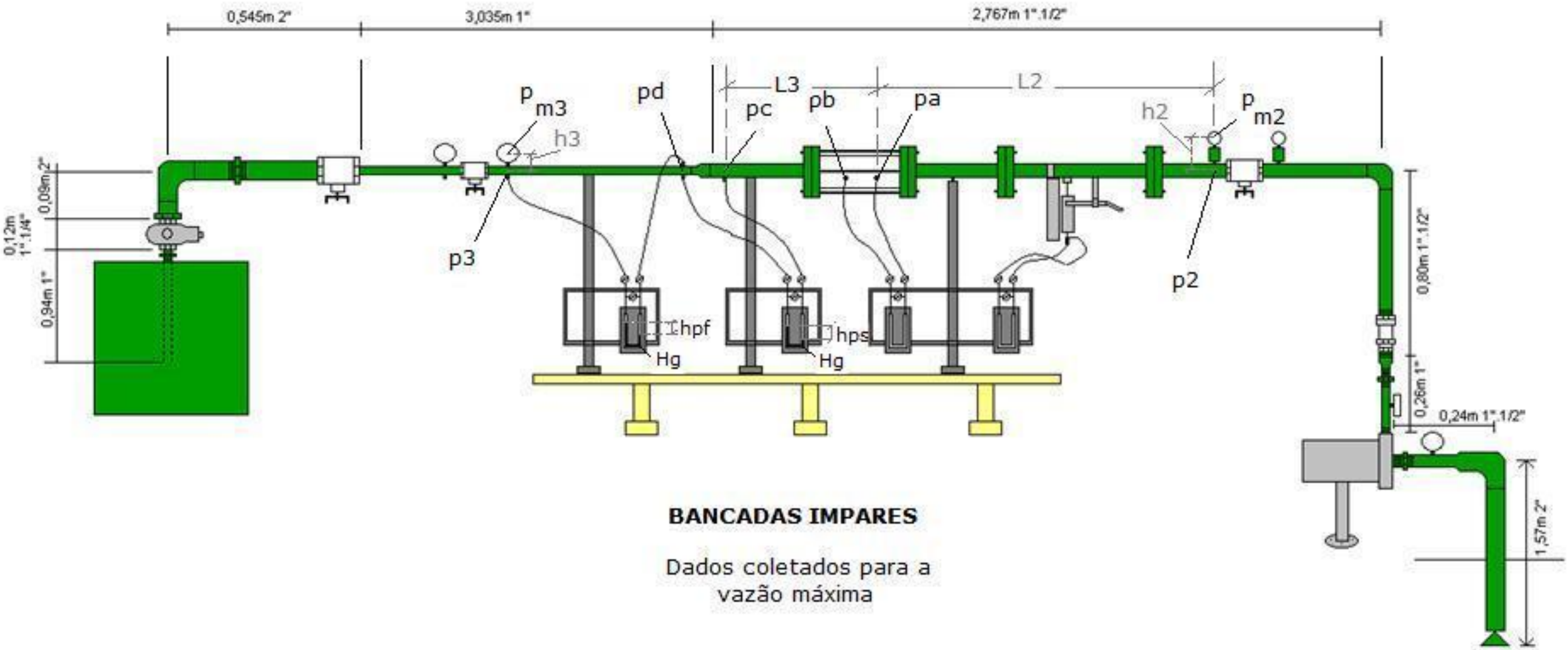
REFLEXÃO DO QUE SE NECESSITA PARA ACOMPANHAR O CURSO E QUE FOI ABORDADO NO PRIMEIRO ENCONTRO.


Conceitos necessários para para acompanhar o curso de mecânica dos fluidos para a engenharia química
24/08/2009 - v4
variação da viscosidade em função da temperatura
líquidos
gases
conceito
pressão
escala de pressão
efetiva
absoluta
carga de pressão
barômetro
escoamento
incompressível
em regime permanente
máquina hidráulica
classificação básica
instalação de recalque
perda de carga
distribuída
localizada ou singular
comprimento equivalente
noção de potência e rendimento para as bombas hidraulicas
equação da energia aplicada a uma instalação básica de bombeamento
cálculo da carga total (H) em uma uma seção do escoamento incompressível e em regime permanente .
cálculo das perdas de carga

ATIVIDADE 2

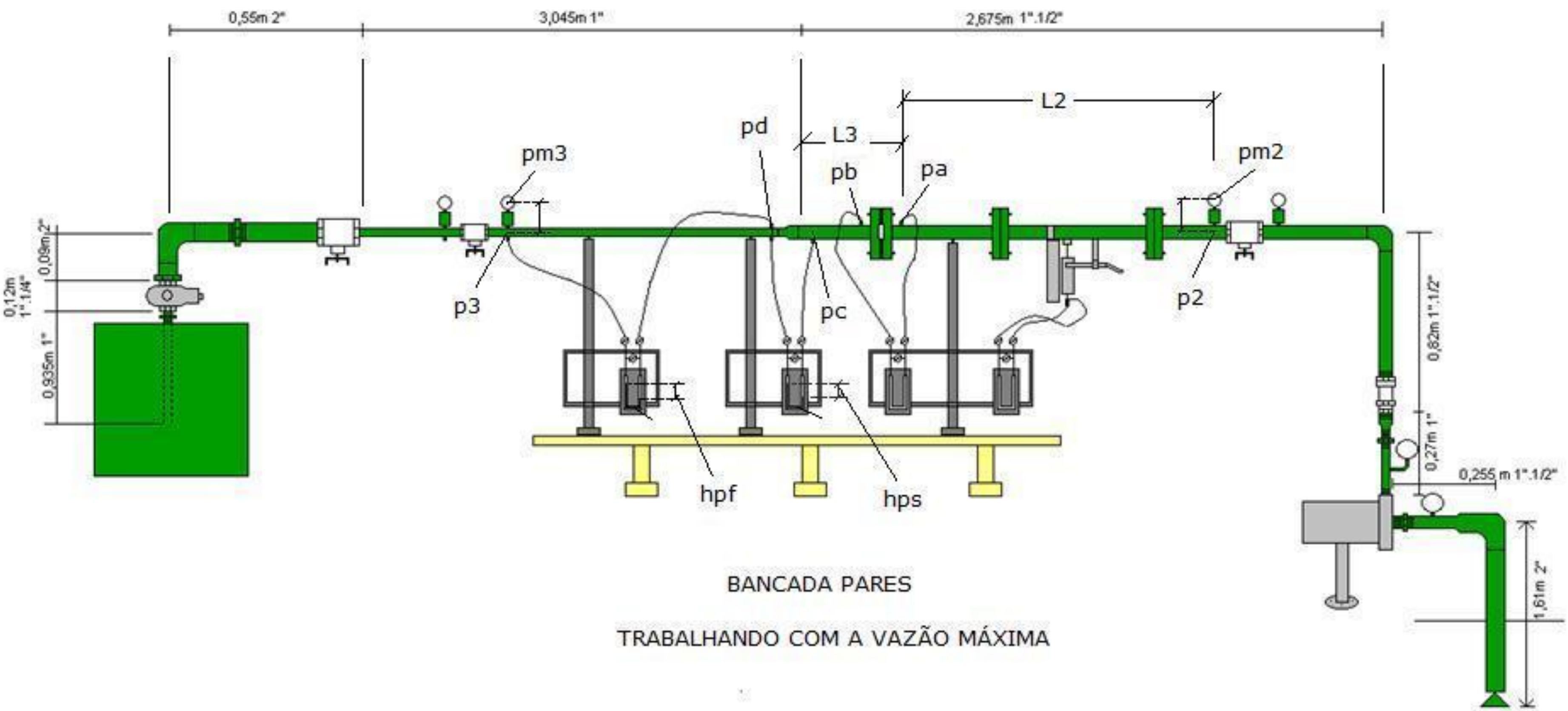
O problema pede para verificar a leitura do manômetro 2 (p_{m2}) supondo que a leitura do manômetro 3 (p_{m3}) e os desníveis de mercúrio nos três manômetros diferenciais em forma de U estão corretas.

RESOLUÇÃO DA ATIVIDADE PROPOSTA, INICIALMENTE CONSIDERANDO AS BANCADAS ÍMPARES DE 1 A 5 E AS PARES DE 2 A 6.



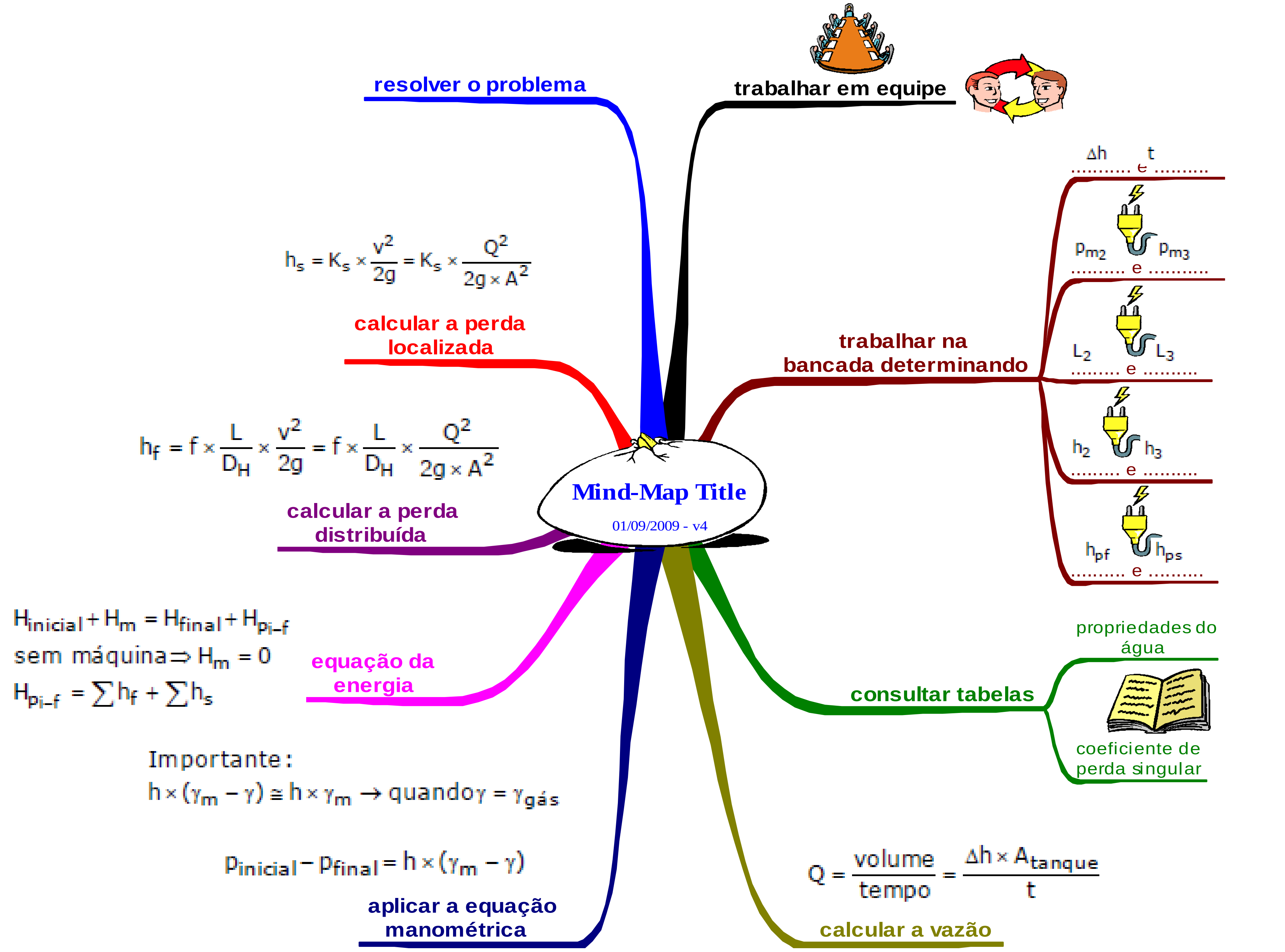
BANCADAS IMPARES

Dados coletados para a vazão máxima



BANCADA PARES

TRABALHANDO COM A VAZÃO MÁXIMA


Mind-Map Title
01/09/2009 - v4
resolver o problema
trabalhar em equipe
$h_s = K_s \times \frac{v^2}{2g} = K_s \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$
calcular a perda localizada
$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{v^2}{2g} = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$
calcular a perda distribuída
$H_{inicial} + H_m = H_{final} + H_{pi-f}$
sem máquina $\Rightarrow H_m = 0$
$H_{pi-f} = \sum h_f + \sum h_s$
equação da energia
Importante:
$h \times (\gamma_m - \gamma) \cong h \times \gamma_m \rightarrow$ quando $\gamma = \gamma_{gás}$
$p_{inicial} - p_{final} = h \times (\gamma_m - \gamma)$
aplicar a equação manométrica
trabalhar na bancada determinando
Δh .... e .... t
p_{m2} .... e .... p_{m3}
L_2 .... e .... L_3
h_2 .... e .... h_3
h_{pf} .... e .... h_{ps}
consultar tabelas
propriedades do água
coeficiente de perda singular
$Q = \frac{volume}{tempo} = \frac{\Delta h \times A_{tanque}}{t}$
calcular a vazão

Resolução

1. Determinação da vazão nas bancadas de 1 a 6, já que nas bancadas 7 e 8 ela é lida através de medidor de vazão eletromagnético no módulo de aquisição correspondente à bancada.

$$Q = \frac{0{,}546 \times \Delta h}{t}$$

BANCADA	t (s)	Δh (cm)	Q (m3/s)	Q (m3/h)
1	42,2	20,0	0,00259	9,32
2	44,9	20,0	0,00243	8,76
3	39,9	20,0	0,00273	9,85
4	41,5	20,0	0,00263	9,48
5	42,0	20,0	0,00260	9,36
6	38,2	20,0	0,00286	10,29

SERÁ QUE A ÁREA DO TANQUE É REALMENTE 0,546 m²?

2. Determinação das propriedades da água e do mercúrio em função da temperatura, que será suposta igual a 20^0C

Os valores foram extraídos do sítio:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12009/propriedades_do_mercurio_2009.htm

$$\rho_{H_2O} = 998{,}2\,\frac{kg}{m^3}$$

$$\nu_{H_2O} = 1{,}004 \times 10^{-6}\,\frac{m^2}{s}$$

$$\rho_{Hg} = 13546\,\frac{kg}{m^3}$$

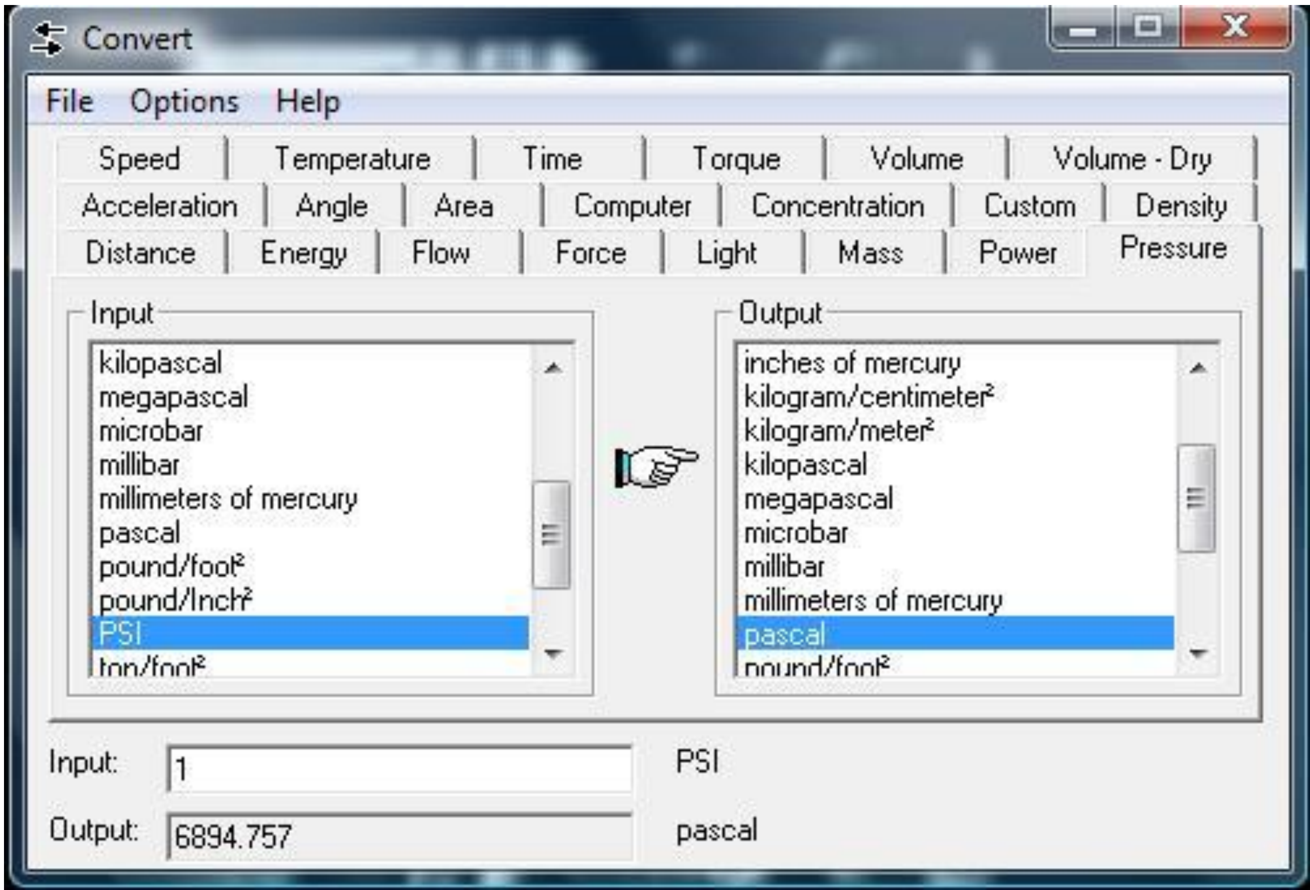
3. Determinação da pressão estática na seção 2 e 3, respectivamente p_2 e p_3

$$p_2 = p_{m_2} + \gamma_{H_2O} \times h_2$$

$$p_3 = p_{m_3} + \gamma_{H_2O} \times h_3$$

A TRANSFORMAÇÃO FOI OBTIDA NO SÍTIO: http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_22009/abertura.htm

ONDE SE TEM ACESSO AO PROGRAMA CONVERT, COMO PODE SER VISTO NA FIGURA AO LADO



BANCADA	p_{m2} (lbs/pol²)	h_2 (cm)	p_2 (Pa)	p_{m3} (lbs/pol²)	h_3 (cm)	p_3 (Pa)
1	17,5	24,0	123006,0	11,0	10,0	76820,6
2	12,0	26,0	85280,5	8,5	24,0	60953,2
3	17,5	24,0	123006,0	11,0	23,0	78092,3
4	18,0	24,0	126453,4	11,0	23,0	78092,3
5	20,0	25,0	140340,7	14,5	23,5	102272,8
6	20,0	23,5	140194,0	50kPa	9,0	50880,4

APARENTEMENTE AS LEITURAS ENCONTRAM-SE COERENTES, POIS P_2 É MAIOR QUE P_3

4. Determinação das pressões p_d e p_c através das equações manométricas aplicadas nos manômetros diferenciais em forma de U.

$$p_d - p_3 = h_{pf} \times \left(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}\right) \therefore p_d = p_3 + h_{pf} \times \left(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}\right)$$

$$p_c - p_d = h_{ps} \times \left(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}\right) \therefore p_c = p_d + h_{ps} \times \left(\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}\right)$$

BANCADA	p_3 (Pa)	h_{pf} (cm)	p_d (Pa)	h_{ps} (cm)	pc (Pa)
1	76820,6	20,3	101783,2	14,3	119367,6
2	60953,2	16,5	81243,0	11,0	94769,5
3	78092,3	18,3	100595,5	13,0	116581,4
4	78092,3	18,2	100472,5	15,7	119778,6
5	102272,8	16,0	121947,8	9,6	133752,8
6	50880,4	32,4	90722,2	21,4	117037,4

Continua coerente pois a pressão p_c é maior que p_d.

5. Cálculo da p_2 pela equação da energia aplicada da seção 2 até a seção c.

$$H_2 = H_c + H_{p_{2-c}}$$

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \times v_2^2}{2g} = z_c + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c \times v_c^2}{2g} + h_{f_{2-c}} + h_{s_{medidor}}$$

$$z_2 = z_c \Rightarrow v_2 = v_c \therefore \alpha_2 = \alpha_c$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_c}{\gamma} + h_{f_{2-c}} + h_{s_{medidor}}$$

$$h_{f_{2-c}} = f \times \frac{(L_2 + L_3)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$h_{s_{medidor}} = K_{s_{medidor}} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

Dados para o cálculo da perda de carga nos medidores de vazão, que é a perda localizada existente no trecho compreendido entre as seções 2 e c

$D_{orifício}$ (mm)	$D_{venturi}$ (mm)
29,76	25,4

Após consulta optou-se em utilizar para o Venturi o $Ks_{venturi}$ = 2,5 e para a placa de orifício o $Ks_{orifício}$ = 3,4 ambos em relação a velocidade da tubulação que para ambos trata-se de um tubo de aço 40 com diâmetro nominal de 1,5”, portanto tem-se Dint = 40,8 mm e A = 13,1 cm².

Cálculo da perda de carga nos medidores

BANCADA	Q (m3/s)	v na tubulação (m/s)	Ks -	hs $_{med}$ (m)	h_{med} (cm)	$\Delta p/\gamma$ m	% da perda em relação ao $\Delta p/\gamma$
1	0,00259	2,0	2,5	0,50	8,5	1,1	47
2	0,00243	1,9	3,4	0,60	6,1	0,8	78
3	0,00273	2,1	2,5	0,56	8,0	1,0	55
4	0,00263	2,0	3,4	0,70	8,3	1,0	67
5	0,00260	2,0	2,5	0,50	7,3	0,9	55
6	0,00286	2,2	3,4	0,83	19,2	2,4	34

AS TRÊS ÚLTIMAS COLUNAS FORAM CONSTRUÍDAS PARA REFLEXÕES FUTURAS.

Cálculo da perda de carga distribuída compreendida entre as seções 2 e c.

DADOS E FÓRMULA UNIVERSAL PARA O CÁLCULO DA PERDA DISTRIBUÍDA.:

$$h_f = f \times \frac{L}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$L = L_2 + L_3$$

$$D_H = 40{,}8\ \text{mm e } A = 13{,}1\ \text{cm}^2$$

$$g = 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho_{H_2O} = 998{,}2\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3};\ \nu_{H_2O} = 1{,}004 \times 10^{-6}\ \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\ \text{e}\ \mu_{H_2O} = 0{,}001002\frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

CALCULO DA PERDA DE CARGA

BANCADA	Q (m3/s)	L_2 (m)	L_3 m	D_H (m)	A (m²)	f -	h_f m
1	0,00259	1,535	0,4	0,0408	0,00131	0,0234	0,221
2	0,00243	1,69	0,24	0,0408	0,00131	0,0236	0,197
3	0,00273	1,515	0,4	0,0408	0,00131	0,0233	0,243
4	0,00263	1,70	0,24	0,0408	0,00131	0,0234	0,229
5	0,00260	1,530	0,4	0,0408	0,00131	0,0234	0,222
6	0,00286	1,69	0,24	0,0408	0,00131	0,0232	0,266
7		1,505	0,36	0,0408	0,00131		
8		1,69	0,27	0,0408	0,00131		

CÁLCULO DE p_2

$$p_2 = \gamma \times \left(\frac{p_c}{\gamma} + h_{f_{2-c}} + h_{s_{medidor}} \right)$$

BANCADA	Q	ρ	p_c	hs_{med}	h_f	p_2
	(m3/s)	Kg/m³	N/m³	(m)	m	N/m²
1	0,00259	998,2	119367,6	0,50	0,221	126420,7
2	0,00243	998,2	94769,5	0,60	0,197	102566,0
3	0,00273	998,2	116581,4	0,56	0,243	124436,6
4	0,00263	998,2	119778,6	0,70	0,229	128866,4
5	0,00260	998,2	133752,8	0,50	0,222	140815,7
6	0,00286	998,2	117037,4	0,83	0,266	127758,9
7		998,2				
8		998,2				

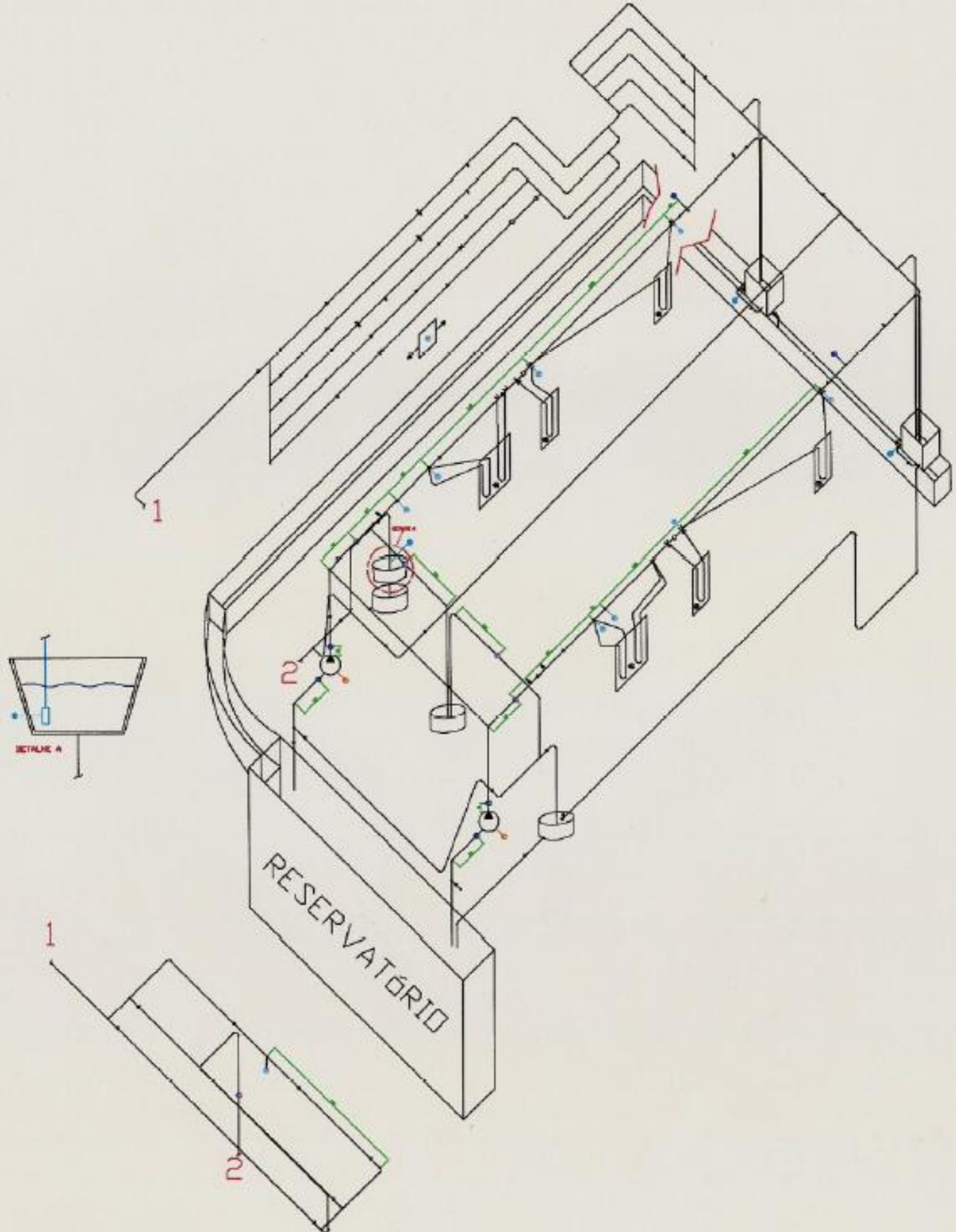
Calculando a pressão manométrica e comparando com o valor lido pelo manômetro

$$p_{m_2} = p_2 - \gamma_{H_2O} \times h_2$$

BANCADA	Q (m3/s)	P_2 (N/m²)	h_2 (cm)	p_{m2} calculada (N/m²)	p_{m2} calculada (lbs/pol²)	Pm2 lida (lbs/pol²)	% da diferença em relação ao lido
1	0,00259	126420,7	24,0	124073	18,00	17,5	2,8
2	0,00243	102566,0	26,0	100023	14,51	12,0	20,9
3	0,00273	124436,6	24,0	122089	17,71	17,5	1,2
4	0,00263	128866,4	24,0	126519	18,35	18,0	1,9
5	0,00260	140815,7	25,0	138370	20,07	20,0	0,3
6	0,00286	127758,9	23,5	125460	18,20	20,0	-9,0
7							
8							

NAS BANCADAS 7 E 8 DEVE-SE LER A VAZÃO E AS PRESSÕES NOS MÓDULOS DE AQUISIÇÃO, JÁ QUE NAS MESMAS SE UTILIZA MEDIDORES DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICOS E TRANSDUTORES DE PRESSÃO.


MÓDULO DE AQUISIÇÃO, INDICAÇÃO
E COMUNICAÇÃO
HYTRONIC

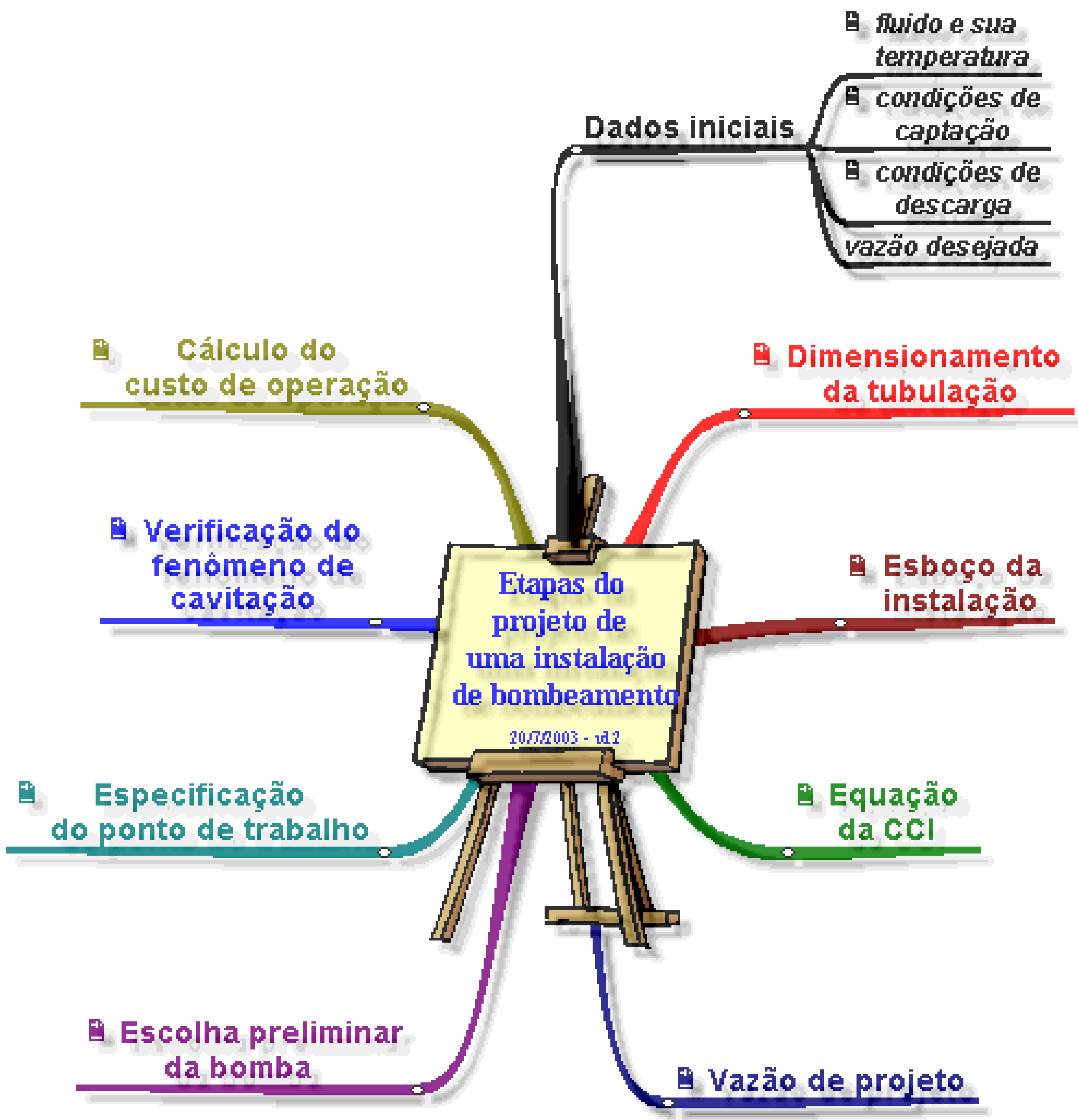


1
2
DETALHE A
RESERVATÓRIO
1
2

O PROCEDIMENTO DE CÁLCULO É SIMILAR AO APRESENTADO ANTERIORMENTE, PORÉM SEM NECESSIDADE DE SE APLICAR A EQUAÇÃO MANOMÉTRICA E TEOREMA DE STEVIN

REFLETINDO SOBRE AS ETAPAS DO PROJETO

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/Etapas%20do%20projeto.htm


Etapas do projeto de uma instalação de bombeamento
20/7/2003 - v1.2
Dados iniciais
fluido e sua temperatura
condições de captação
condições de descarga
vazão desejada
Dimensionamento da tubulação
Esboço da instalação
Equação da CCI
Vazão de projeto
Escolha preliminar da bomba
Especificação do ponto de trabalho
Verificação do fenômeno de cavitação
Cálculo do custo de operação

Fluido e sua temperatura

Com essa informação será possível a determinação de parâmetros fundamentais para o desenvolvimento do projeto, tais como:

- peso específico, que é fundamental para especificação por exemplo da carga de pressão;

- viscosidade, que é fundamental para o cálculo da perda de carga;

- pressão de vapor, que é fundamental para a verificação do fenômeno de cavitação.

Condições de captação

Ao se iniciar um projeto é evidente que se sabe as condições de captação do fluido, o que equivale a dizer que se conhece da seção inicial da instalação:

- a carga potencial (Z);
- a carga de pressão (p/γ);
- a carga cinética ($\alpha v^2/2g$).

Conhecidas as cargas anteriores a sua soma representa a carga inicial ($H_{inicial}$) da instalação a ser projetada, a qual é calculada.

Condições de distribuição

Ao se iniciar um projeto é evidente que se sabe as condições de distribuição do fluido, o que equivale a dizer que se conhece da seção final da instalação:

- a carga potencial (Z);
- a carga de pressão (p/γ);
- a carga cinética ($\alpha v^2/2g$).

Conhecidas as cargas anteriores a sua soma representa a carga final (H_{final}) da instalação a ser projetada, a qual é calculada.

Vazão desejada, sem ela seria impossível se desenvolver o projeto de bombeamento.

Em função do fluido a ser transportado e da sua temperatura de escoamento, procura-se estabelecer o material da tubulação.

Após o preestabelecimento do material e da velocidade econômica, calcula-se o diâmetro da tubulação como mostramos a seguir.

$$Q = v \times A = v \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\therefore D_{calculado} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v \times \pi}}$$

Através do diâmetro calculado pela equação do slide anterior, consultando uma tabela normalizada, especifica-se o diâmetro nominal. Dependendo da fonte de consulta encontra-se certas variações das velocidades econômicas.

PARA MAIORES INFORMAÇÕES CONSULTE O SÍTIO:

http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/dimensionamento%20da%20tubulação.pdf

Esboço da instalação já que através dele especifica-se o(s) comprimento(s) da(s) tubulação(ões) e as suas singularidades com seus respectivos coeficientes de perda de carga singular ou comprimentos equivalentes.

CCI = curva característica da instalação

É a curva que representa os lugares geométricos que caracterizam a energia por unidade de peso, que o fluido necessita fornecer ou receber de uma máquina hidráulica, de tal forma que origine um escoamento em regime permanente em uma dada instalação a uma vazão Q.

Para uma instalação de bombeamento o fluido recebe energia por unidade de peso e a CCB é representada por $H_s = f\ (Q)$.

Equação da CCI

A equação da CCI pode ser obtida pela diferença entre a energia por unidade de peso a ser vencida e a energia por unidade de peso que o fluido possui, ou em outras palavras aplicando-se a equação da energia entre o nível de captação e a seção terminal, considerando uma instalação com um único diâmetro, tem-se:

$$H_{inicial} + H_{sistema} = H_{final} + H_{p_{totais}}$$

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

$\alpha =$ coeficiente de energia cinética que é definido para seção de tubulação, onde para o escoamento laminar é igual a 2 e para o turbulento $\cong 1{,}0$.

Equação da CCI (continuação)

Deixando em função da vazão:

$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{y_i \times \alpha_i \times Q^2}{2g \times A_i^2} + H_s = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{y_f \times \alpha_f \times Q^2}{2g \times A_f^2} + f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$H_s = \left(z_f - z_1\right) + \frac{\left(p_f - p_i\right)}{\gamma} + \left(\frac{y_f \times \alpha_f}{2g \times A_f^2} - \frac{y_i \times \alpha_i}{2g \times A_i^2}\right) \times Q^2 + f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)}{D_H} \times \frac{Q^2}{2g \times A^2}$$

$$H_{estática} = \left(z_f - z_1\right) + \frac{\left(p_f - p_i\right)}{\gamma}$$

$$B_{instalação} = \left(\frac{y_f \times \alpha_f}{2g \times A_f^2} - \frac{y_i \times \alpha_i}{2g \times A_i^2}\right) + f \times \frac{\left(L + \sum Leq\right)}{D_H} \times \frac{1}{2g \times A^2}$$

$H_s = H_{estática} + B_{instalação} \times Q^2 \rightarrow$ equação da CCI

$y = 0 \rightarrow$ se for nível de reservatório

$y = 1 \rightarrow$ se for seção de tubulação

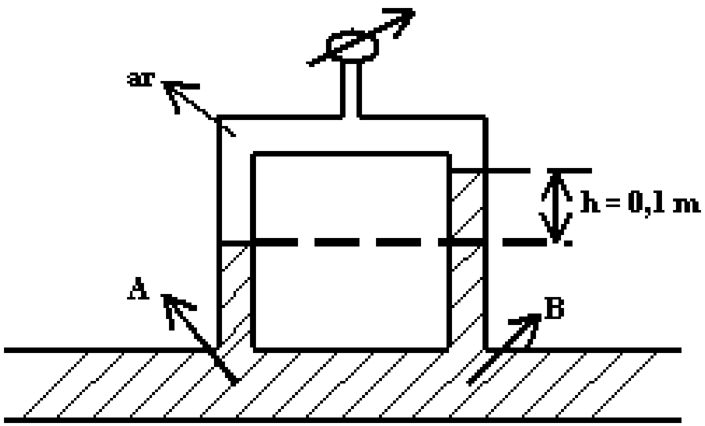
Se for com coeficientes de perda de carga singular (Ks)

$$B_{instalação} = \left(\frac{y_f \times \alpha_f}{2g \times A_f^2} - \frac{y_i \times \alpha_i}{2g \times A_i^2} \right) + f \times \frac{(L)}{D_H} \times \frac{1}{2g \times A^2} + \sum Ks \times \frac{1}{2g \times A^2}$$

$$H_s = H_{estática} + B_{instalação} \times Q^2 \rightarrow \text{equação da CCI}$$

Segunda atividade – parte individual

O dispositivo mostrado na figura abaixo mede o diferencial de pressão entre os pontos A e B de uma tubulação por onde escoa água.



$$\rho_{H_2O} = 1000\,\frac{kg}{m^3}$$

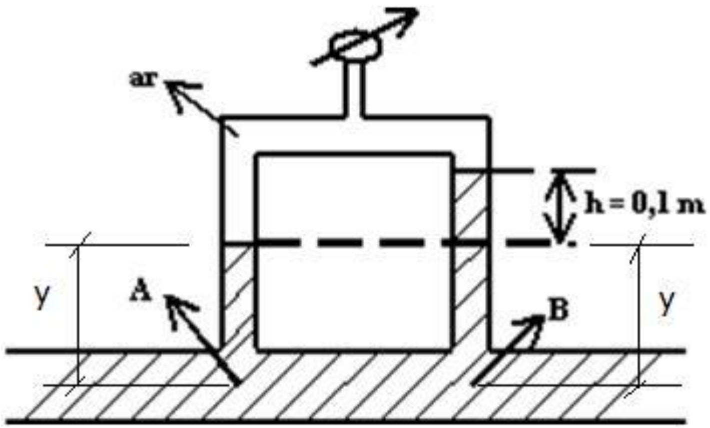
$$\rho_{ar} = 1,2\,\frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,8\,\frac{m}{s^2}$$

Com base nos dados apresentados na figura, pede-se:

1. determine o diferencial de pressão entre os pontos A e B, em Pa; (valor: 2,5 pontos)
2. calcule a pressão absoluta no interior da camada de ar, sendo a leitura do manômetro de Bourdon $p_{man} = 10^4$Pa, e a pressão atmosférica local Patm = 10^5Pa; (valor: 2,5 pontos)
3. Especifique o sentido do escoamento justificando (valor: 2,5 pontos)
4. calcule a perda de carga entre a seção inicial e final (valor: 2,5 pontos)

Solução – item 1



$$p_A = p_{ar} + y \times \gamma_{H_2O}$$

$$p_B = p_{ar} + y \times \gamma_{H_2O} + 0{,}1 \times \gamma_{H_2O}$$

$$p_B - p_A = 0{,}1 \times \gamma_{H_2O} = 0{,}1 \times 1000 \times 9{,}8$$

$$p_B - p_A = 980 \frac{N}{m^2} = 980\,Pa$$

Solução – item 2

$$p_m = p_{ar} = 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_{ar_{abs}} = p_{ar} + p_{atm_{local}}$$

$$p_{ar_{abs}} = 10^4 + 10^5 = 110000 \text{ Pa}$$

Solução – item 3

Como trata-se de um trecho sem máquina hidraulica e tem-se o mesmo diâmetro que encontra-se em um plano horizontal tem-se:

$$z_A = z_B \rightarrow v_A = v_B$$

Como $p_B > p_A$ tem-se $H_B > H_A$, portanto o escoamento ocorre da carga maior para a carga menor, ou seja, de B para A.

Solução – item 4

$$H_{inicial} + H_{máq} = H_{final} + H_p$$

$$H_{maq} = 0$$

$$H_{inicial} = H_B$$

$$H_{final} = H_A$$

$$\therefore H_B = H_A + H_p$$

$$H_p = \frac{p_B - p_A}{\gamma} = 0{,}1\,m$$