ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Emissão original

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	30/06/2023								
EXECUÇÃO	TDQ7								
VERIFICAÇÃO	F1TQ								
APROVAÇÃO	TRL5								

DE ACORDO COM O DOCUMENTO PE-3TP-00218 AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA TRANSPETRO, SENDO PROIBIDA A.

UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE. FORMULÁRIO PERTENCENTE A PETROBRAS N-381 REV M.

SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....3
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....3
3. CÁLCULO.....3
4. CONCLUSÃO.....6

1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo descrever o dimensionamento das bombas de óleo combustível que serão substituídas em razão do projeto de abastecimento de bunker no píer de rebocadores.

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

1. RL-4200.02-6440-940-PTD-001_RB Adequações do píer de rebocadores para abastecimento de bunker – Projeto conceitual.
2. MP-2000-940-001 Determinação das Condições de Projeto.
3. MP-5000-940-001 Sistemas de Transferência e Estocagem
4. MP-5000-940-003 Cálculos Hidráulicos

3. CÁLCULO

3.1. Premissas e condições

Conforme definido na referência 1, as seguintes premissas se aplicam ao projeto.

- Vazão máxima para o píer de barcaça: 600 m³/h;
- Vazão máxima para o píer principal (abastecimento): 600 m³/h;
- Vazão máxima para abastecimento simultâneo: 1200 m³/h;
- Tipo de bomba: deslocamento positivo rotativa (fusos);
- Quantidade de bombas: 02 x 400 m³/h com conversor de frequência e 02 x 200 m³/h sem conversor de frequência.

Em reunião com a inspeção do Terminal para verificar a pressão de habilitação atual das linhas, definiu-se por um reteste hidrostático do sistema de óleo combustível no valor de 15 kgf/cm². Esse valor habilitaria as linhas para uma pressão de projeto de 10 kgf/cm². Observa-se que este é o valor equivalente ao shut off das bombas atuais e é condizente com a pressão de projeto das juntas de expansão substituídas da linha F-01 no valor de 10,5 kgf/cm². Esse valor é o mesmo encontrado na documentação original das juntas (ET-4200.02-6611-253-PTI-002_RB), sendo que em ambos os casos a pressão de teste hidrostático foi 150% a pressão de projeto.

A pressão de saída de uma bomba de deslocamento positivo não é afetada pela pressão de montante. Considerando 1 kgf/cm² para contrapor diferença de cota entre as linhas F-01 e F-02 no píer e elevação das bombas, estabelece-se o valor de 9 kgf/cm² para as válvulas de alívio nas bombas. Evitando-se o acionamento espúrio destas, estabelece-se o valor de 90% da pressão de abertura como pressão máxima na saída das bombas, isto é, 8,1 kgf/cm². Esta pressão máxima será regulada por variável de pressão na saída da bomba, modulando o inversor de frequência.

De forma a determinar as condições de processo, será realizada avaliação hidráulica, onde são assumidas as seguintes condições:

a) Escoamento isotérmico;

b) As FCVs na entrada do píer, que serão instaladas nas EMEDs, terão a finalidade de controle de vazão para escoamento por gravidade, além de controle de vazão

na situação de envio de produto por uma mesma linha (F-01 ou F-02) para píer principal simultâneo com píer de barcaça;

c) Em razão da característica da bomba, o sistema à montante será avaliado apenas para finalidade de obter o NPSH disponível;

d) Altura estática considerando diferença de cotas entre tanque e píer, de nível dos tanques (baixo e alto) e de variação de maré associado a navio carregado e em lastro. Nessas condições tem-se dois casos críticos para cada píer em cada produto:

- Melhor condição para píer principal: Tanque em nível máximo (cota 35 m) e navio aframax Castro Alves carregado com maré baixa (manifold na cota 8,1 m);
- Melhor condição para píer de barcaça: Tanque em nível máximo (cota 35 m) e barcaça carregada com maré baixa (manifold na cota 3,6 m);
- Pior condição para píer principal: Tanque em nível mínimo (cota 26 m) e navio VLCC New Joaviality em lastro com maré alta (cota 24,8 m);
- Pior condição para píer de barcaça: Tanque em nível mínimo (cota 26 m) e barcaça em lastro com maré alta (cota 7,3 m).

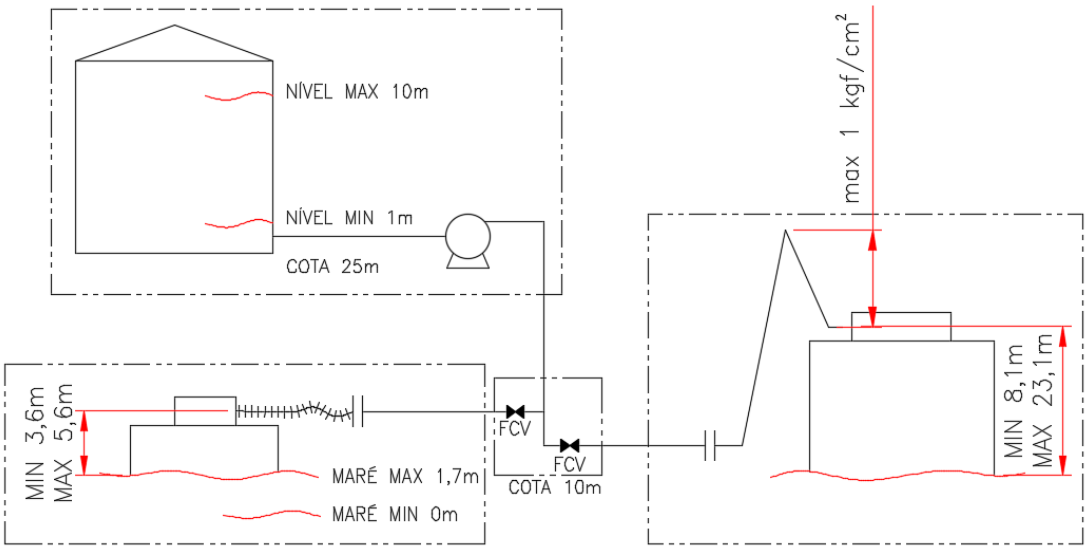

Figura 1: Esquema de análise com cotas

e) Equacionamento de Bernoulli com perda de carga pela equação de continuidade de Darcy-Weisbach e o fator de atrito de Colebrook-White, com aproximação para transição;

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{{V_1}^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{{V_2}^2}{2g} + h_L$$

$$f = \frac{64}{Re}, (para\ Re < 2000 - fluxo\ laminar)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\ log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{f}}\right), , (para\ R > 4000 - fluxo\ turbulento)$$

onde,

h_L = Perda de carga

f = Fator de atrito

D = Diâmetro

g = Aceleração da gravidade

V = Velocidade

L = Comprimento

Re = Número de Reynolds

ε = Rugosidade

f) Será assumido uma adição de 15% para comprimentos maiores que 100 m e 30% para menores ou igual a 100 m, a título de comprimento equivalente para compensar o não cômputo dos componentes de tubulação (curvas, tês, válvulas etc.);

g) Assumida rugosidade absoluta de 1,5E-04 m para tubulação de aço carbono, uma condição que representa corrosão leve;

h) Os produtos considerados estão indicados na Tabela 3 a seguir.
   - VLSFO: 880 kg/m³, 20 cSt
   - MF380 @30°C: 991 kg/m³, 1554 cSt

i) Considerado o tanque mais distante para efeito de análise (TQ C-02).

Tabela 1: Dados de entrada com MF380 @ 30°C

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO											
Fluído e condição	-	MF380 @ 30°C									
Massa específica	ρ	991,0									kg/m³
Viscosidade	ν	1554									cSt
Pressão de vapor	P_v	0,020									kgf/cm²
Diferença de cota TQ-bomba	H_{SB}	1,0 m		Cota bomba: 25,0 m		Cota base TQ: 25,0 m			Nível TQ: 1,0 m		
Dif cota bomba-barcaça/navio	H_{SN}	17,7 m	0,2 m	Maré: 1,7 m		Alt. con.barc: 5,6 m			Alt. con. navio: 23,1 m		
Pressão no manifold	P_m	1,0									kgf/cm²
Trecho		Tanque às bombas		Bombas		Bombas-EMED	EMED ao PP		EMED ao PB		
Diâmetro nominal	D	14"	20"	14"	12"	20"	20"	12"	12"	8"	in
Espessura	t	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	mm
Estado de corrosão	-	Leve									-
Comprimento equivalente ou K	L_{EQ}	12	328	13	33	782	1265	65	221	173	m

Tabela 2: Dados de entrada com VLSFO

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO											
Fluído e condição	-	VLSFO									
Massa específica	ρ	880,0									kg/m³
Viscosidade	ν	20									cSt
Pressão de vapor	P_v	0,020									kgf/cm²
Diferença de cota TQ-bomba	H_{SB}	1,0 m		Cota bomba: 25,0 m		Cota base TQ: 25,0 m			Nível TQ: 1,0 m		
Dif cota bomba-barcaça/navio	H_{SN}	17,7 m	0,2 m	Maré: 1,7 m		Alt. con.barc: 5,6 m			Alt. con. navio: 23,1 m		
Pressão no manifold	P_m	1,0									kgf/cm²
Trecho		Tanque às bombas		Bombas		Bombas-EMED	EMED ao PP		EMED ao PB		
Diâmetro nominal	D	14"	20"	14"	12"	20"	20"	12"	12"	8"	in
Espessura	t	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	mm
Estado de corrosão	-	Leve									-
Comprimento equivalente ou K	L_{EQ}	12	328	13	33	782	1265	65	221	173	m

3.2. Resultados

Os resultados podem ser observados na Tabela 3 a seguir. Observam-se restrições com o MF380 a 30°C no envio para barcaça na condição individual ou concomitante com o píer principal. Isso ocorre por duas razões: limitação da pressão de projeto das linhas, conforme explanado anteriormente; e limitação para passagem de tubulação no píer de rebocadores, o que requer a passagem de apenas uma linha DN 8" para MF.

Cabe ressaltar que essa condição é extrema e considera um produto que atualmente não é movimentado. Na situação de movimentação dele, haverá uma restrição de vazão a um máximo de aproximadamente 380 m³/h para o píer de barcaça. Essa redução é aceitável, considerando a alternativa de um novo sistema de tubulação em substituição ao atual para obter pressão de projeto maior.

Observa-se ainda que no caso do VLSFO, no envio para navio com melhor condição, não há necessidade de bomba para atender à vazão prevista. Essa situação pode ocorrer em vazões menores e, ainda, dependendo da posição do manifold do navio.

As vazões considerando ambos os destinos (píer principal e de barcaças) são resultantes da limitação da pressão à jusante das bombas, isto é, limitação de vazão para atender à pressão máxima admissível da linha.

Tabela 3: Resultados da avaliação hidráulica

Destino	Produto	Vazão [m³/h]	Combinação de nível no TQ, maré e calado	Head req [m]	NPSHd [m]
Barcaça	VLSFO	600	Melhor	20,4	20,6
		600	Pior	24,1	11,6
	MF380@30°C	390	Melhor	82,1	15,2
		370	Pior	82,1	6,4
Navio	VLSFO	600	Melhor	0,0	
		600	Pior	16,8	11,6
	MF380@30°C	600	Melhor	39,7	12,8
		600	Pior	56,4	3,8
Ambos	VLSFO	1200	Melhor	24,3	18,7
		1200	Pior	28,0	9,7
	MF380@30°C	920	Melhor	80,8	9,2
		900	Pior	79,7	0,4

4. CONCLUSÃO

A avaliação hidráulica resultou na necessidade de head entre 20 e 82 mcl para as bombas. A limitação do valor máximo de pressão na saída da bomba de 8,1 kgf/cm² com set de válvula de alívio à 9,0 kgf/cm² resultou em restrição de vazão a pouco mais de 60% do máximo para a condição de MF380 a 30°C, uma condição aceitável por haver baixa expectativa de movimentação deste produto.

O NPSH disponível geralmente está acima de 9 m, com alguns casos abaixo disso. A partir da definição da bomba a ser efetivamente fornecida, poderá ser necessário limitar a vazão e/ou nível do tanque em algumas condições mais críticas.