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	04/07/2023								
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. DADOS....3
4. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DAS NOVAS BOMBAS DE OC....3
5. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DE LINHAS DE OC BLOQUEADAS....8
6. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DE LINHAS DE MGO BLOQUEADAS....13
7. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DOS FILTROS....17
8. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO BOMBAS DRENAGEM....22
9. CONCLUSÃO....25

1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo descrever o dimensionamento das válvulas de alívio de processo previstas para as novas bombas de óleo combustível, de alívio na condição de fogo para os filtros, bem como válvulas de alívio térmico para trechos bloqueados dos sistemas de óleo combustível e MGO que serão acrescidas em razão do projeto de abastecimento de bunker no píer secundário.

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-0000-841-301 Dimensionamento de válvulas de alívio e segurança
3. MP-5000-940-003 Cálculos hidráulicos
4. API STD 520 Sizing selection and installation of pressure relieving devices
5. API STD 521 Pressure-relieving and depressuring systems
6. API STD 526 Flanged Steel Pressure-relief Valves
7. Riazzi, M. R. Characterization and Properties of Petroleum Fractions. West Conshohocken: ASTM, 2005.

3. DADOS

Os seguintes dados se aplicam ao dimensionamento das válvulas de alívio, conforme definido na referência 1.

- Massa específica
  - MF/VLSFO 880 – 991 kg/m³
  - MGO 880 kg/m³
- Viscosidade
  - MF/VLSFO 20 a 1554 cSt
  - MGO 6 cSt
- Pressão de projeto
  - Sistema MGO 10 kgf/cm²
  - Sistema OC 10 kgf/cm² (requalificado)

4. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DAS NOVAS BOMBAS DE OC

4.1. Considerações

Serão previstas quatro novas bombas de deslocamento positivo, sendo duas com vazão de 200 m³/h e duas com 400 m³/h. Em razão do tipo de bomba, para cada uma delas será prevista uma válvula de alívio para proteção contra sobrepressão em razão de qualquer bloqueio parcial ou total que possa ocorrer no sistema à jusante.

Conforme definido na MC-4200.02-6000-940-PTD-001, a pressão de alívio foi definida em 9,0 kgf/cm². A contrapressão foi considerada no limite para válvula convencional, isto é,

10% da pressão de alívio. Esse valor é compatível com pressão devido ao nível dos tanques (variável).

4.2. Cálculo

Para a situação de vazão de 400 m³/h, a área requerida é de 4613 mm², sendo necessário orifício tipo Q (vide Tabela 1). Conforme a referência 6, para este orifício, é possível o atendimento com uma válvula DN 6”x8” e conexões classe 150.

No caso de vazão de 200 m³/h, a área requerida é de 2358 mm², sendo necessário orifício tipo N (vide Tabela 2). Conforme a referência 6, para este orifício, é possível o atendimento com uma válvula DN 4”x6” e conexões classe 150.

Tabela 1: Área requerida vazão 400 m³/h

Sizing for liquid relief - API 520			
A	4613	mm²	PSV area required
Q	400	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	1		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,92		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	9	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	882,6	kPag	
P_2	0,9	kgf/cm²	Total backpressure
	88,3	kPag	

Tabela 2: Área requerida vazão 200 m³/h

Sizing for liquid relief - API 520			
A	2358	mm²	PSV area required
Q	200	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	1		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,9		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	9	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	882,6	kPag	
P_2	0,9	kgf/cm²	Total backpressure
	88,3	kPag	

4.3. Verificação da contrapressão

A contrapressão deve estar limitada a 10% do set de abertura, isto é, 0,9 kgf/cm². Esse valor é relativamente compatível com a altura máxima dos tanques, sem consideração da perda de pressão dinâmica pelas linhas de sucção, que será muito baixa. Para evitar qualquer tipo de problema, estabelece-se que a perda de carga na linha entre saída das válvulas de alívio e linha de sucção da bomba seja limitada a 10% do valor máximo de contrapressão, isto é, 0,09 kgf/cm².

O cálculo de perda de carga considerou uma válvula gaveta, uma curva, um tê de passagem curva e dois metros de trecho reto.

Para o caso da vazão de 400 m³/h verificou-se que, para o mesmo diâmetro de saída da válvula de alívio (DN 8”), a perda seria de 0,15 kgf/cm². Com o aumento para DN 10”, a perda de carga, mesmo incluindo ampliação, reduziu-se para 0,06 kgf/cm² (vide Tabela 3). Dessa forma, define-se o diâmetro da tubulação de saída como DN 10” para as bombas com vazão de 400 m³/h.

Para o caso da vazão de 200 m³/h, verificou-se que, para o mesmo diâmetro de saída da válvula de alívio (DN 6”), a perda seria de 0,18 kgf/cm². Com o aumento para DN 8”, a perda de carga, mesmo incluindo ampliação, reduziu-se para 0,06 kgf/cm² (vide Tabela 4). Dessa forma, define-se o diâmetro da tubulação de saída como DN 8” para as bombas com vazão de 200 m³/h.

Tabela 3: Contrapressão - Vazão 400 m³/h

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	10	in
Schedule	-	20	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	400,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,37	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	0,62	m
		0,06	kgf/cm²
		30,23	kgf/cm²/km
Velocidade	v	2,09	m/s
Diâmetro externo	D	273,0	mm
Espessura	e	6,35	mm
Diâmetro interno	D_i	260,3	mm
Área da seção	A_i	0,0532	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m

Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	3,50E+02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,83E-01	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	1,83E-01	-

Tabela 4: Contrapressão - Vazão 200 m³/h

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	8	in
Schedule	-	20	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	200,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,37	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	0,59	m
		0,06	kgf/cm²
		28,81	kgf/cm²/km
Velocidade	v	1,66	m/s
Diâmetro externo	D	219,1	mm
Espessura	e	6,35	mm
Diâmetro interno	D_i	206,4	mm
Área da seção	A_i	0,0335	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	2,21E+02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	2,90E-01	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,90E-01	-

4.4. Verificação da perda de carga na entrada

Conforme API 520, o limite para perda de carga na entrada da válvula é de 3% o valor da pressão de abertura. Dessa forma, o valor máximo aceitável é de 0,27 kgf/cm².

O cálculo de perda de carga considerou uma válvula gaveta, um tê de passagem curva e meio metro de trecho reto.

Para o caso da vazão de 400 m³/h verificou-se que, para o mesmo diâmetro de entrada da válvula de alívio (DN 6”), a perda seria de 0,27 kgf/cm². Dessa forma, a tubulação pode manter o diâmetro da entrada da válvula de alívio.

No caso da vazão de 200 m³/h, verificou-se que, para o mesmo diâmetro de entrada da válvula de alívio (DN 4”), a perda seria de 0,43 kgf/cm². Com o aumento para DN 6”, a perda é reduzida para 0,08 kgf/cm². Dessa forma, a tubulação de entrada para esse caso deve ter DN 6”.

Tabela 5: Perda entrada – Vazão 400 m³/h

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	6	in
Schedule	-	STD	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	400,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,17	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,5	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	2,75	m
		0,27	kgf/cm²
		539,92	kgf/cm²/km
Velocidade	v	5,96	m/s
Diâmetro externo	D	168,3	mm
Espessura	e	7,11	mm
Diâmetro interno	D_i	154,1	mm
Área da seção	A_i	0,0186	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	5,91E+02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,08E-01	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	1,08E-01	-

Tabela 6: Perda na entrada – Vazão 200 m³/h

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	

Diâmetro nominal	D	6	in
Schedule	-	40	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	200,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,17	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,5	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	0,85	m
		0,08	kgf/cm²
		166,16	kgf/cm²/km
Velocidade	v	2,98	m/s
Diâmetro externo	D	168,3	mm
Espessura	e	7,11	mm
Diâmetro interno	D_i	154,1	mm
Área da seção	A_i	0,0186	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	2,95E+02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	2,17E-01	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,17E-01	-

5. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DE LINHAS DE OC BLOQUEADAS

Para linhas com extremidades bloqueadas por válvulas, a proteção contra sobrepressão por expansão térmica é realizada por meio de válvula de alívio de pequena dimensão. O "design by rule" define orifício tipo D. Porém, em linhas com grandes volumes, deve-se verificar a capacidade em relação à máxima taxa de expansão.

A verificação deve ser feita somente para o caso crítico (maior volume contido), que é uma das linhas F-01 ou F-02 bloqueadas por válvula na EMED e tendo uma extensão de aproximadamente 1100 m até o píer principal com DN 20". Para esse caso, a maior taxa de expansão calculada de forma conservadora é de 12 L/min (vide Tabela 8).

O cálculo deve considerar a contrapressão, que é dada pelo menos pela diferença de nível (>1 kgf/cm²). Além disso, há outras válvulas que estariam aliviando em cascata da linha para a tancagem. No caso do óleo combustível, há uma PSV para cada linha F-01 e F-02 aliviando para a linha do tanque C-02. Esta linha, por sua vez, alivia em by pass da válvula pé de tanque. Atualmente as pressões de ajuste estão elevadas, e recomenda-se que cada válvula de alívio subsequente tenha, no máximo, metade da pressão de ajuste, que é o limite para válvulas balanceadas.

Partindo do set máximo de 10 kgf/cm² nas válvulas da EMED, e ainda considerando 1 kgf/cm² de desnível, tem-se que as válvulas das linhas F-01 e F-02 devem ter set de 4 kgf/cm². Por sua vez, a válvula de alívio pé de tanque deve ter set de 2 kgf/cm², considerando ainda que esta possui contrapressão de coluna de 1 kgf/cm².

Assim sendo, para cada condição de pressão de ajuste e contrapressão, será requerida uma área. Deve-se atentar ainda, que a PSV à jusante deve considerar a vazão do trecho protegido mais de alívio das PSVs de montante. A Tabela 7 apresenta o resumo das condições de dimensionamento e resultados, enquanto a Figura 1 indica a localização.

Tabela 7: Condições de dimensionamento das válvulas de alívio em cascada de OC

PSV	Válvulas EMED	Proteção F-01/F-02	Pé de tanque
Tipo	Balanceada	Balanceada	Balanceada
Ajuste	10,0 kgf/cm²	4,0 kgf/cm²	2,0 kgf/cm²
Contrapressão	5,0 kgf/cm²	2,0 kgf/cm²	1,0 kgf/cm²
Vazão	0,72 m³/h	1,44 m³/h	1,5 m³/h
Orifício requerido	E	G	J
Dimensão API 526	1”x2”	1 ½”x3”	2”x3”
Linha de entrada	1”	1 ½”	2”
Linha de saída	2”	3”	3”

Figura 1: Localização dos bloqueios que requerem válvulas de alívio de by pass do sistema de óleo combustível e respectivas pressões de ajuste

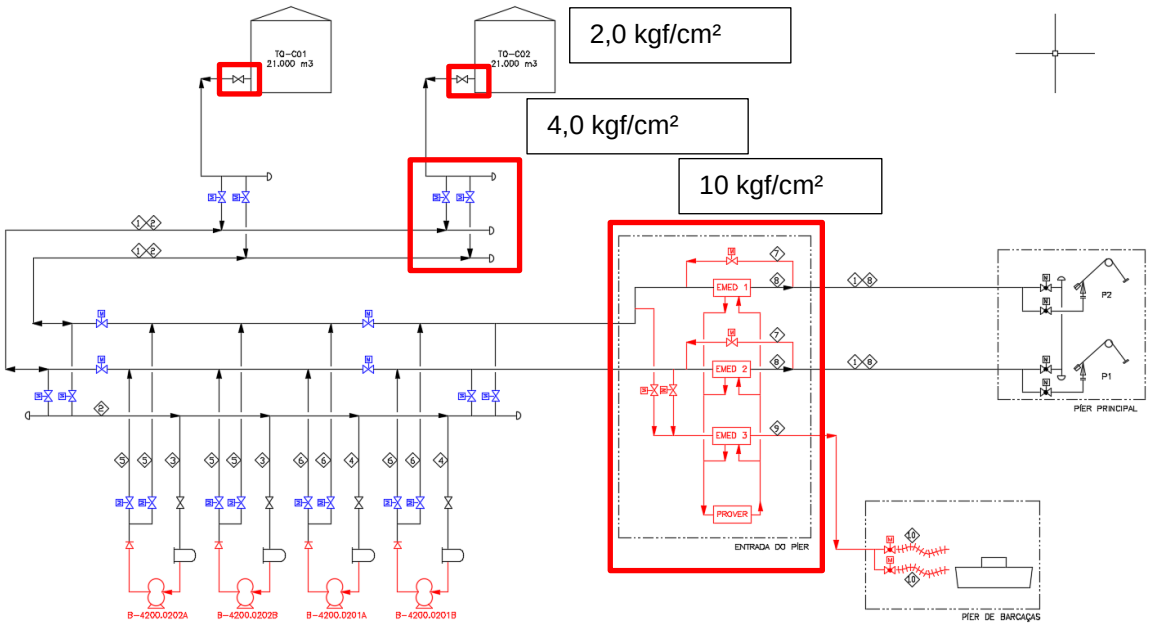

Tabela 8: Taxa máxima de expansão por radiação solar

Fluid	FO	*Unit*	*Description*
α_v	6,6E-04	K^{-1}	Cubic expansion coefficient
ρ_1	987,8	$kg.m^{-3}$	Density of liquid at T_1
ρ_2	962	$kg.m^{-3}$	Density of liquid at T_2
T_1	20	°C	First temperature
T_2	60	°C	Second temperature (relief)
c	2000	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	Specific heat capacity at T_2
ϕ	581152	W	Heat
R	1040	$W.m^{-2}$	Solar max radiation
A_e	558,8	m^2	Total exposed area
$D_{e,1}$	0,508	m	Pipe diameter
L_1	1100	m	Pipe lenght
q	**2,0E-04**	$m^3.s^{-1}$	Volume flow rate at T_2
	11,99	l/min	Volume flow rate at T_2
	692,2	kg/h	Mass flow rate at T_2

Tabela 9: Área requerida - válvula de alívio térmico válvulas EMED – orifício E

A	132	mm^2	PSV area required
Q	0,72	m^3/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,11		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	10	kgf/cm^2	Upstream relieving pressure
	980,7	kPag	
P_2	5	kgf/cm^2	Total backpressure
	490,3	kPag	

Tabela 10: Área requerida - válvula de alívio térmico linhas F-01/F-02 – orifício G

A	306	mm^2	PSV area required
Q	1,44	m^3/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,15		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	4	kgf/cm^2	Upstream relieving pressure

	392,3	kPag	
P_2	2	kgf/cm²	Total backpressure
	196,1	kPag	

Tabela 11: Área requerida - válvula de alívio térmico pé de tanque – orifício J

Sizing for liquid relief - API 520			
A	676	mm²	PSV area required
Q	1,50	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,1		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	2	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	196,1	kPag	
P_2	1	kgf/cm²	Total backpressure
	98,1	kPag	

Tabela 12: Verificação da tubulação de entrada

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	1	in
Schedule	-	160	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	1,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,07	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,3	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	2,97	m
		0,29	kgf/cm²
		969,40	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,83	m/s
Diâmetro externo	D	33,4	mm
Espessura	e	6,35	mm
Diâmetro interno	D_i	20,7	mm

Área da seção	A_i	0,0003	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	1,10E+01	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	5,82E+00	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	5,82E+00	-

Tabela 13: Verificação da tubulação de saída

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	2	in
Schedule	-	160	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	1,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,06	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	1,07	m
		0,10	kgf/cm²
		52,38	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,19	m/s
Diâmetro externo	D	60,3	mm
Espessura	e	8,74	mm
Diâmetro interno	D_i	42,8	mm
Área da seção	A_i	0,0014	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	5,32E+00	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,20E+01	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	1,20E+01	-

6. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DE LINHAS DE MGO BLOQUEADAS

A verificação deve ser feita somente para o caso crítico (maior volume contido), que é a linha DN 12” bloqueada por válvula na EMED e tendo uma extensão de aproximadamente 1100 m até o píer principal. Para esse caso, a maior taxa de expansão calculada de forma conservadora é de 11 L/min (vide Tabela 15).

O cálculo deve considerar a contrapressão, que é dada pelo menos pela diferença de nível (>1 kgf/cm²). Além disso, há outras válvulas que estariam aliviando em cascata da linha para a tancagem. No caso do MGO, há uma PSV para a linha principal DN 12” aliviando para a linha do tanque D-03. Esta linha, por sua vez, alivia em by pass da válvula pé de tanque. Atualmente as pressões de ajuste estão elevadas, e recomenda-se que cada válvula de alívio subsequente tenha, no máximo, metade da pressão de ajuste, que é o limite para válvulas balanceadas.

Partindo do set máximo de 10 kgf/cm² nas válvulas da EMED, e ainda considerando 1 kgf/cm² de desnível, tem-se que a válvula da linha DN 12” deve ter set de 4 kgf/cm². Por sua vez, a válvula de alívio pé de tanque deve ter set de 2 kgf/cm², considerando ainda que esta possui contrapressão de coluna de 1 kgf/cm².

Assim sendo, para cada condição de pressão de ajuste e contrapressão, será requerida uma área. Deve-se atentar ainda, que a PSV à jusante deve considerar a vazão do trecho protegido mais de alívio das PSVs de montante. A Tabela 14 apresenta o resumo das condições de dimensionamento e resultados, enquanto a Figura 2 indica a localização.

Tabela 14: Condições de dimensionamento das válvulas de alívio em cascada de MGO

PSV	Válvulas EMED	Proteção F-01/F-02	Pé de tanque
Tipo	Balanceada	Balanceada	Balanceada
Ajuste	10,0 kgf/cm²	4,0 kgf/cm²	2,0 kgf/cm²
Contrapressão	5,0 kgf/cm²	2,0 kgf/cm²	1,0 kgf/cm²
Vazão	0,62 m³/h	1,24 m³/h	1,3 m³/h
Orifício requerido	D	D	D
Dimensão	3/4”x1”	3/4”x1”	3/4”x1”
Linha de entrada	3/4”	3/4”	3/4”
Linha de saída	1”	1”	1”

Figura 2: Localização dos bloqueios que requerem válvulas de alívio de by pass do sistema de MGO e respectivas pressões de ajuste

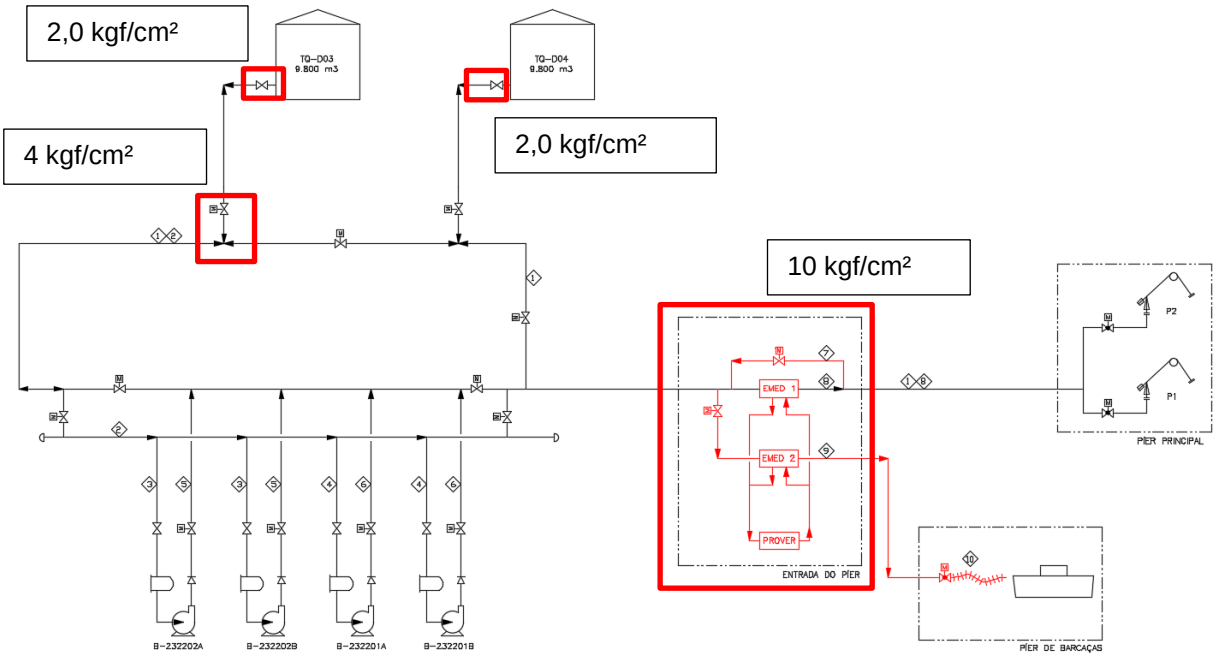

Tabela 15: Taxa máxima de expansão por radiação solar

Fluid	MGO	*Unit*	*Description*
α_v	7,8E-04	K^{-1}	Cubic expansion coefficient
ρ_1	877	$kg.m^{-3}$	Density of liquid at T_1
ρ_2	850	$kg.m^{-3}$	Density of liquid at T_2
T_1	20	°C	First temperature
T_2	60	°C	Second temperature (relief)
c	2000	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	Specific heat capacity at T_2
ϕ	370656	W	Heat
R	1040	$W.m^{-2}$	Solar max radiation
A_e	356,4	m^2	Total exposed area
$D_{e,1}$	0,324	m	Pipe diameter
L_1	1100	m	Pipe lenght
q	**1,7E-04**	$m^3.s^{-1}$	Volume flow rate at T_2
	10,23	l/min	Volume flow rate at T_2
	521,7	kg/h	Mass flow rate at T_2

Tabela 16: Área requerida - válvula de alívio térmico válvulas EMED – orifício D

A	12	mm^2	PSV area required
Q	0,62	m^3/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure

K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,97		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,88		Specific gravity
P_1	10	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	980,7	kPag	
P_2	5	kgf/cm²	Total backpressure
	490,3	kPag	

Tabela 17: Área requerida - válvula de alívio térmico linha DN 12" – orifício D

A	38	mm²	PSV area required
Q	1,24	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,98		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,88		Specific gravity
P_1	4	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	392,3	kPag	
P_2	2	kgf/cm²	Total backpressure
	196,1	kPag	

Tabela 18: Área requerida - válvula de alívio térmico válvula pé de tanque – orifício D

A	57	mm²	PSV area required
Q	1,30	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,98		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,88		Specific gravity
P_1	2	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	196,1	kPag	
P_2	1	kgf/cm²	Total backpressure
	98,1	kPag	

Tabela 19: Verificação da tubulação de entrada

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO		
Fluído e condição	-	HC - Recalque

Diâmetro nominal	D	3/4	in
Schedule	-	160	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	880,0	kg/m³
Viscosidade	ν	6,00	cSt
Vazão	Q	0,7	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,98	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,5	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	0,14	m
		0,01	kgf/cm²
		24,52	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,96	m/s
Diâmetro externo	D	26,7	mm
Espessura	e	5,56	mm
Diâmetro interno	D_i	15,6	mm
Área da seção	A_i	0,0002	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,28E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,00E-06	m²/s
Número de Reynolds	Re	2,50E+03	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	Transição	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	3,05E-02	-

Tabela 20: Verificação da tubulação de saída

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	1	in
Schedule	-	160	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	880,0	kg/m³
Viscosidade	ν	6,00	cSt
Vazão	Q	0,7	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,97	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			

Perda de carga	h_L	0,08	m
		0,01	kgf/cm²
		3,50	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,54	m/s
Diâmetro externo	D	33,4	mm
Espessura	e	6,35	mm
Diâmetro interno	D_i	20,7	mm
Área da seção	A_i	0,0003	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,28E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,00E-06	m²/s
Número de Reynolds	Re	1,88E+03	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	3,41E-02	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	3,41E-02	-

7. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO DOS FILTROS

Os filtros FT-232301A/B (menores) e FT-232302A/B (maiores) são vasos de pressão que foram construídos pelo código ASME VIII divisão 1 para uma PMTA corroído e quente de 10,5 kgf/cm² e temperatura de projeto de 90°C. Conforme requisito do código, o vaso deve ser protegido por válvula de alívio, que está instalada na linha à jusante dele. A atual válvula é convencional com capacidade de quase 6 m³/h informada no corpo e pressão de alívio de 10 kgf/cm². Porém, sendo roscada e instalada em trecho de tubulação que será substituído, fez-se a previsão no projeto de substituí-lo. Para isso, se faz importante verificar o dimensionamento desta, que será feito na sequência.

Sendo os filtros instalados à montante de bomba, estão sujeitos a uma pressão máxima dada pela coluna do tanque, ocasionando pouco mais de 1 kgf/cm². Assim sendo, as causas individuais de sobrepressão aplicáveis conforme API 521 são apenas aquecimento térmico ou fogo. Este último evento é dimensionante para o caso, observando ainda que a proteção da linha para alívio térmico também atende ao vaso. A filosofia normativa é a prevenção da explosão do vaso, evento com consequência mais danosa do que o alívio do fluído.

Conforme API 521, é difícil considerar apenas a expansão líquida, dado não termos controle sobre o tempo em que o vaso estará sob esta situação. Dessa forma assume-se, conservadoramente, que o produto será vaporizado na taxa de calor recebida. A pressão de alívio nesse caso considera a acumulação admitida de 121% da pressão de projeto.

Na ausência de dados de calor latente, este será estimado por um método baseado na regra de Trouton conforme referência 7 tendo por referência o icosano e ponto de ebulição do octadecano. Como resultado, conforme Tabela 21 e Tabela 22, haverá um aporte de calor de 153 kW e 112 kW para os filtros maiores e menores, com uma taxa de geração de vapor de 2,63 t/h e 1,93 t/h respectivamente. Essas taxas resultam, conforme Tabela 23 e Tabela 24, em válvulas de alívio nas dimensões 1½G3 e 1½F2. As tubulações de entrada e saída foram verificadas, resultando em entrada e saída de 2” para filtros menores e 3” para os filtros maiores.

Tabela 21: Taxa de alívio dos filtros maiores sob condição de fogo

A_{ws}	4,68	m²	Total wetted surface
F	1	-	Environmental fator
C1	43200	-	Constant
Q	153139	W	Total head absortion
Tb	589,15	K	Boiling point
ΔH_{vap}	53286	kJ/kmol	Latent heat of vaporization
Q	153139	J/s	Total heat absorption
Tax	2,87	mol/s	Rate of vapor formation
Mol wt.	254,5	kg/kmol	Molecular weight
Tax	2.633	kg/h	Rate of vapor formation

Tabela 22: Taxa de alívio dos filtros menores sob condição de fogo

A_{ws}	3,21	m²	Total wetted surface
F	1	-	Environmental factor
C1	43200	-	Constant
Q	112413	W	Total head absortion
Tb	589,15	K	Boiling point
ΔH_{vap}	53286	kJ/kmol	Latent heat of vaporization
Q	112413	J/s	Total heat absorption
Tax	2,11	mol/s	Rate of vapor formation
Mol wt.	254,5	kg/kmol	Molecular weight
Tax	1.933	kg/h	Rate of vapor formation

Tabela 23: Dimensionamento da válvula de alívio para os filtros maiores

A	228	mm²	PSV area required
W	2633	kg/h	Required flow
C	0,0239	-	Coefficient
K_d	0,62	-	Effective coefficient of discharge
K_b	1	-	Correction factor due to backpressure
K_c	1	-	Combination correction factor (rupture disk)
T	589,15	K	Relieving temperature
Z	1	-	Compressibility factor
M	254,5	kg/kmol	Molecular weight
P_1	12,1	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	1186,6	kPag	

Tabela 24: Dimensionamento da válvula de alívio para os filtros menores

A	167	mm²	PSV area required

W	1933	kg/h	Required flow
C	0,0239	-	Coefficient
K_d	0,62	-	Effective coefficient of discharge
K_b	1	-	Correction factor due to backpressure
K_c	1	-	Combination correction factor (rupture disk)
T	589,15	K	Relieving temperature
Z	1	-	Compressibility factor
M	254,5	kg/kmol	Molecular weight
P_1	12,1	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	1186,6	kPag	

Tabela 25: Verificação tubulação entrada filtros menores

DADOS DE ENTRADA - GÁS			
Diâmetro nominal	D	2	in
Schedule	-	80	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	2,000	kg/m³
Razão C_p/C_v	γ	1,000	-
Viscosidade	μ	0,100	cP
Vazão mássica	w	1.933	kg/h
Pressão absoluta a montante	P_1	13,133	kgf/cm²
Perda de carga singular	K	1,17	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,5	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	1459,99	m
		0,2920	kgf/cm²
		584,00	kgf/cm²/km
Velocidade	v	141,10	m/s
Número de Mach	M	0,18	-
Pressão absoluta a jusante	P_2	12,84	kgf/cm²
Diâmetro externo	D	60,3	mm
Espessura	e	5,54	mm
Diâmetro interno	D_i	49,2	mm
Área da seção	A_i	0,0019	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,10E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,54E-06	m²/s
Velocidade do som no meio	v_s	802,5	m²/s

Número de Reynolds	Re	1,06E+06	-
Energia cinética específica	$\rho.v^2$	3,98E+04	kg/m.s²
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,64E-02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,15E-02	-

Tabela 26: Verificação tubulação entrada filtros maiores

DADOS DE ENTRADA - GÁS			
Diâmetro nominal	D	3	in
Schedule	-	80	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	2,000	kg/m³
Razão C_p/C_v	γ	1,000	-
Viscosidade	μ	0,100	cP
Vazão mássica	w	2.633	kg/h
Pressão absoluta a montante	P_1	13,133	kgf/cm²
Perda de carga singular	K	1,17	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	0,5	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	499,77	m
		0,1000	kgf/cm²
		199,91	kgf/cm²/km
Velocidade	v	85,82	m/s
Número de Mach	M	0,11	-
Pressão absoluta a jusante	P_2	13,03	kgf/cm²
Diâmetro externo	D	88,9	mm
Espessura	e	7,62	mm
Diâmetro interno	D_i	73,7	mm
Área da seção	A_i	0,0043	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,10E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,54E-06	m²/s
Velocidade do som no meio	v_s	802,5	m²/s
Número de Reynolds	Re	9,67E+05	-
Energia cinética específica	$\rho.v^2$	1,47E+04	kg/m.s²
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,37E-02	-

Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,17E-02	-

Tabela 27: Verificação tubulação de saída filtros menores

DADOS DE ENTRADA - GÁS			
Diâmetro nominal	D	2	in
Schedule	-	80	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	2,000	kg/m³
Razão C_p/C_v	γ	1,000	-
Viscosidade	μ	0,100	cP
Vazão mássica	w	1.933	kg/h
Pressão absoluta a montante	P_1	13,133	kgf/cm²
Perda de carga singular	K	2,07	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	3190,59	m
		0,6381	kgf/cm²
		319,06	kgf/cm²/km
Velocidade	v	141,10	m/s
Número de Mach	M	0,18	-
Pressão absoluta a jusante	P_2	12,49	kgf/cm²
Diâmetro externo	D	60,3	mm
Espessura	e	5,54	mm
Diâmetro interno	D_i	49,2	mm
Área da seção	A_i	0,0019	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,10E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,54E-06	m²/s
Velocidade do som no meio	v_s	802,5	m²/s
Número de Reynolds	Re	1,06E+06	-
Energia cinética específica	$\rho.v^2$	3,98E+04	kg/m.s²
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,64E-02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,15E-02	-

Tabela 28: Verificação tubulação de saída filtros maiores

DADOS DE ENTRADA - GÁS			
Diâmetro nominal	D	3	in
Schedule	-	80	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	2,000	kg/m³
Razão C_p/C_v	γ	1,000	-
Viscosidade	μ	0,100	cP
Vazão mássica	w	2.633	kg/h
Pressão absoluta a montante	P_1	13,133	kgf/cm²
Perda de carga singular	K	2,07	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	1019,09	m
		0,2038	kgf/cm²
		101,91	kgf/cm²/km
Velocidade	v	85,82	m/s
Número de Mach	M	0,11	-
Pressão absoluta a jusante	P_2	12,93	kgf/cm²
Diâmetro externo	D	88,9	mm
Espessura	e	7,62	mm
Diâmetro interno	D_i	73,7	mm
Área da seção	A_i	0,0043	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	5,10E-03	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	6,54E-06	m²/s
Velocidade do som no meio	v_s	802,5	m²/s
Número de Reynolds	Re	9,67E+05	-
Energia cinética específica	$\rho.v^2$	1,47E+04	kg/m.s²
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,37E-02	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	1,17E-02	-

8. DIMENSIONAMENTO – ALÍVIO BOMBAS DRENAGEM

As bombas de drenagem são de deslocamento positivo e, dessa forma, requerem proteção contra sobrepressão. Estabeleceu-se que cada bomba terá vazão de 5 m³/h com set

de alívio de 10 kgf/cm². Uma das bombas atenderá ao sistema de MGO, enquanto a outra ao sistema de óleo combustível. Porém, haverá interligação para uso comum quando em situação de indisponibilidade de uma delas. Assim sendo, deverá ser dimensionada para o pior caso, de operação com óleo combustível viscoso.

A Tabela 29 indica área requerida equivalente a orifício E, sendo necessário conforme API 526 uma válvula 1E2. A tubulação de entrada e saída devem ter o mesmo diâmetro DN 2".

Tabela 29: Área requerida - válvula de alívio térmico – orifício E

A	126	mm²	PSV area required
Q	5,00	m³/h	Flow rate
K_d	0,65		Rated coefficient of discharge
K_w	0,67		Correction factor due to backpressure
K_c	1		Combination correction factor (rupture disk)
K_v	0,58		Correction factor due to viscosity
K_p	1		Correction factor due to overpressure
G_l	0,98		Specific gravity
P_1	10	kgf/cm²	Upstream relieving pressure
	980,7	kPag	
P_2	0,5	kgf/cm²	Total backpressure
	49,0	kPag	

Tabela 30: Verificação da tubulação de entrada

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	2	in
Schedule	-	STD	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	5,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	2,07	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	2,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	2,41	m
		0,24	kgf/cm²
		117,99	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,64	m/s
Diâmetro externo	D	60,3	mm
Espessura	e	3,91	mm

Diâmetro interno	D_i	52,5	mm
Área da seção	A_i	0,0022	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	2,17E+01	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	2,95E+00	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,95E+00	-

Tabela 31: Verificação da tubulação de saída

DADOS DE ENTRADA - LÍQUIDO			
Fluído e condição	-	HC - Recalque	
Diâmetro nominal	D	2	in
Schedule	-	STD	-
Estado de corrosão	-	Leve	-
Massa específica	ρ	980,0	kg/m³
Viscosidade	ν	1554,00	cSt
Vazão	Q	5,0	m³/h
Coef. perda de carga singular	K	1,17	-
Comprimento equivalente	L_{EQ}	1,0	m
RESULTADOS			
Perda de carga	h_L	1,21	m
		0,12	kgf/cm²
		118,26	kgf/cm²/km
Velocidade	v	0,64	m/s
Diâmetro externo	D	60,3	mm
Espessura	e	3,91	mm
Diâmetro interno	D_i	52,5	mm
Área da seção	A_i	0,0022	m²
Rugosidade	e	1,50E-04	m
Viscosidade absoluta	μ	1,52E+00	kg/m.s
Viscosidade cinemática	ν	1,55E-03	m²/s
Número de Reynolds	Re	2,17E+01	-
Fator de atrido de Haaland	$f_{Haaland}$	2,95E+00	-
Fator de atrido Colebrook-White	$f_{Colebrook}$	2,95E+00	-

9. CONCLUSÃO

As seguintes válvulas de alívio foram dimensionadas para as novas bombas, incluindo verificação do diâmetro das tubulações de entrada e saída:

- Bombas com vazão 200 m³/h: válvulas convencionais 4N6 set 9 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN 6” e saída DN 8”;
- Bombas com vazão 400 m³/h: válvulas convencionais 6Q8 set 9 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN 6” e saída DN 10”;

As seguintes válvulas de alívio foram dimensionadas para proteção das linhas F-01 e F-02 na área das EMEDs e tanques de óleo combustível:

- By pass de válvulas na EMED: válvulas balanceadas 1E2 set 10 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN 1” e saída DN 2”;
- Alívio das linhas F-01/F-02 para tanque C-02: válvulas balanceadas 1 ½ G3 set 4 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN 1 ½” e saída DN 3”;
- By pass da válvula pé de tanque: válvulas balanceadas 2J3 set 2,0 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN 2” e saída DN 3”.

As seguintes válvulas de alívio foram dimensionadas para proteção da linha de MGO na área das EMEDs e tanques:

- By pass de válvula na EMED: válvulas balanceadas ¾D1 set 10 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN ¾” e saída DN 1”;
- Alívio da linha DN 12” para tanque D-03: válvula balanceada ¾D1 set 4 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN ¾” e saída DN 1”;
- By pass da válvula pé de tanque: válvulas balanceadas ¾D1 set 2 kgf/cm² conexões classe 150 com tubulação de entrada DN ¾” e saída DN 1”.

As seguintes válvulas de alívio foram dimensionadas para proteção dos filtros existentes de óleo combustível para fogo conforme API-521:

- Filtros menores: válvula convencional 1½F2 set 10 kgf/cm² conexões classe 150 e linha de entrada DN 2” e saída DN 2”;
- Filtros maiores: válvula convencional 1½G3 set 10 kgf/cm² conexões classe 150 e linha de entrada DN 3” e saída DN 3”.

As seguintes válvulas de alívio foram dimensionadas para proteção das bombas de drenagem:

- Válvula convencional 1E2 set 10 kgf/cm² conexões classe 150 e linhas de entrada e saída DN 2”.