



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

UNIDADE DE AQUECIMENTO DE COMBUSTÍVEL PARA BANCO DE PROVAS
DE COMBUSTÍVEL MARÍTIMO

Thiago Torres Magalhães

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Albino José Kalab Leiroz e Prof. Marcelo José Colaço.

RIO DE JANEIRO

NOVEMBRO DE 2013

UNIDADE DE AQUECIMENTO DE COMBUSTÍVEL PARA BANCO DE PROVAS
DE COMBUSTÍVEL MARÍTIMO

Thiago Torres Magalhães

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Albino José Kalab Leiroz, PhD. (Orientador)

Prof. Marcelo José Colaço, DSc. (Orientador)

Prof. Helcio Rangel Barreto Orlande, PhD.

Eng. Nauberto Rodrigues Pinto

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2013

Magalhães, Thiago Torres.

Unidade de Aquecimento de Combustível para Banco de Provas de Combustível Marítimo / Thiago Torres Magalhães – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

XI, 101 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Prof. Albino José Kalab Leiroz e Prof. Marcelo José Colaço.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2013.

Referências bibliográficas: p.96 - 100.

1. Óleos Combustíveis Marítimos. 2. Aquecimento de Óleos Combustíveis e Óleos Combustíveis Marítimos. 3. Óleo Combustível Marítimo MF-380 (HFO). 4. Óleo Diesel Marítimo (MDO). 5. Motor Diesel. I. Leiroz, Albino José Kalab. Colaço, Marcelo José II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Mecânica. III. Título.

Agradecimentos

Acima de tudo agradeço a Deus por estar trabalhando dentro de mim para um dia ser o que devo ser e, pela fé que me ajuda a superar meus limites, permitindo que eu alcance o primeiro passo dessa jornada que foi concluir o curso de Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Aos meus professores, por todo o aprendizado tanto no âmbito profissional quanto pessoal. Especialmente ao meu orientador, professor Albino José Kalab Leiroz, pela total atenção e confiança depositada em mim ao longo do projeto e aos professores Marcelo José Colaço e Helcio Rangel Barreto Orlande pelo grande apoio.

Aos profissionais do Laboratório de Máquinas Térmicas, em especial aos engenheiros Nauberto Pinto e Pedro Paulo, pela enorme paciência e dedicação ao me instruir durante todas as etapas do projeto.

À toda minha família, especialmente aos meus pais, José Luiz do Amaral Magalhães e Selma Torres Magalhães, ao meu irmão, Vitor Torres Magalhães, às minhas avós, Augusta Taranto Torres e Audanira do Amaral Magalhães, e à minha namorada, Amanda Guarany Mendes por serem a base de toda minha formação pessoal, por apoiarem todas as fases e decisões da minha vida, pelo conforto e estímulo nas horas difíceis, pela confiança e por todo o amor. Aos meus avôs, José Farias Torres e Raymundo Mesquita Magalhães, (in memoriam).

Aos amigos de curso de Engenharia, em especial aos que me acompanharam e ajudaram durante todos os momentos, Fernando José Facina David Silva e Gustavo Basílio Lopes Martins da Silva.

Por fim, aos professores e amigos da academia de jiu-jítsu AKXEJJ por ajudarem a realçar valores como autoconfiança, disciplina, respeito, honestidade e lealdade, dentro e fora do tatame, além de proporcionar ótimos momentos de esporte e lazer.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

UNIDADE DE AQUECIMENTO DE COMBUSTÍVEL PARA BANCO DE PROVAS
DE COMBUSTÍVEL MARÍTIMO

Thiago Torres Magalhães

Novembro/2013

Orientador: Prof. Albino José Kalab Leiroz (PhD) e Prof. Marcelo José Colaço (DSc).

Curso: Engenharia Mecânica.

Este trabalho apresenta o projeto de uma unidade de aquecimento de combustível, condicionando-o para utilização em um motor a uma determinada viscosidade. Esta unidade de aquecimento irá compor um banco de provas, onde serão realizados testes de depósitos em bicos injetores. O motor que equipará esse banco é projetado para funcionar com DO (Diesel Oil) e será adaptado para resistir aos novos limites operacionais resultantes da utilização do HFO (Heavy Fuel Oil). O presente projeto foi desenvolvido a partir de dados iniciais e, em seguida, foram realizados todos os cálculos térmicos e mecânicos para seu dimensionamento. Por fim, foram selecionados os componentes da unidade de combustível de forma a fornecer uma visão do conjunto e permitir seu detalhamento visando a construção.

Índice	pg
Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Tabelas	X
1 – Introdução.....	1
1.1 – Motivação.....	1
1.2 – Objetivo.....	1
1.3 - Organização do trabalho.....	1
2..... – Óleos combustíveis marítimos	4
2.1 – Introdução.....	4
2.2 – Classificações	4
2.3 – Propriedades	8
2.3.1 - Viscosidade cinemática.....	8
2.3.2 – Densidade	9
2.3.3 – Resíduo de carbono	9
2.3.4 – Cinza.....	9
2.3.5 – Ponto de fulgor.....	9
2.3.6 - Teor de enxofre.....	9
2.3.7 - Água e sedimentos	10
2.3.8 – Ponto de fluidez	10
2.3.9 – Poder calorífico	10
2.3.10 – Calor específico.....	10
2.4 – Seleção dos combustíveis.....	11
3 - Seleção do motor	13
4 - Tanques	16
4.1 - Tanques de armazenagem.....	16

4.2 - Tanques de serviço	19
4.2.1 - Tanque de serviço do HFO.....	19
4.2.2 - Tanque de serviço do MDO	22
5 - Suportes dos tanques de armazenagem e de serviço	24
5.1 - Suportes dos tanque de armazenagem.....	24
5.2 - Suportes dos tanques de serviço.....	24
6 - Indicadores de nível.....	28
6.1 - Indicadores de nível dos tanques de armazenagem.....	28
6.1.1 - Tubo de acrílico	28
6.1.2 - Balança.....	31
6.2 - Indicador de nível dos tanques de serviço	32
7 - Isolamento térmico e aquecimento dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO.....	38
7.1 - Isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO	39
7.2 - Cálculo da perda de calor do tanque de armazenagem do HFO	41
7.2.1 - Cálculo da perda de calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO.....	43
7.2.2 - Cálculo da perda de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.....	46
7.3 - Cálculo da perda de calor do tanque de serviço do HFO	48
7.3.1 - Cálculo da perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO.....	51
7.3.2 - Cálculo da perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO.....	53
7.3.3 - Cálculo da perda de calor por convecção através da tampa do tanque de serviço do HFO.....	56
7.4 - Aquecimento dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO	58
7.4.1 - Aquecimento do tanque de armazenagem do HFO	58

7.4.1.1 - Cálculo da potência da resistência elétrica	58
7.4.1.2 - Seleção da resistência elétrica.....	59
7.4.1.3 - Cálculo do tempo de aquecimento do HFO.....	59
7.4.2 - Aquecimento do tanque de serviço do HFO	61
7.4.2.1 - Cálculo da potência da resistência elétrica	61
7.4.2.2 - Seleção da resistência elétrica.....	62
7.4.2.3 - Cálculo do tempo de aquecimento do HFO.....	62
8 - Tubulações industriais	64
8.1 - Tubos e tubulações.....	64
8.2 - Classificação das tubulações industriais quanto ao emprego	64
8.3 - Materiais das tubulações industriais.....	66
8.3.1 - Tubos de aço-carbono	66
8.3.2 - Tubos de aço-liga e aço inoxidável.....	66
8.3.3 - Fatores de influência na seleção de materiais.....	67
8.3.4 - Seleção do material dos tubos rígidos.....	68
8.4 - Cálculo de consumo do MDO.....	69
8.5 - Cálculo de consumo do HFO.....	69
8.6 - Cálculo do diâmetro externo dos tubos rígidos.....	70
8.7 - Seleção do diâmetro externo dos tubos rígidos das tubulações	70
8.8 - Seleção dos tubos flexíveis das tubulações	71
8.9 - Tubulações de respiro.....	71
8.10 - Meios de ligação de tubos.....	72
8.11 - Conexões de tubulação	73
8.11.1 - Classificação das conexões de tubulação:.....	73
8.11.2 - Conexões rosqueadas	74
8.11.3 - Conexões de ligação (nipples).....	77
8.11.4 - Ligações de compressão.....	79

8.12 - Guias dos tubos de acrílico	81
8.13 - Aquecimento e isolamento térmico de tubulações.....	82
8.13.1 - Finalidade do aquecimento das tubulações	82
8.13.2 - Aquecimento elétrico	82
8.13.3 - Isolamento térmico.....	83
8.13.4 - Cálculo da perda de calor ao longo da tubulação do HFO.....	84
8.13.5 - Seleção do resistor elétrico.....	85
9 - Acessórios do Sistema	86
9.1 - Válvulas	86
9.2 - Viscosímetro	89
9.3 - Termostatos.....	92
9.4 - Transdutor de Temperatura.....	93
10 - Conclusão	95
11 – Referências bibliográficas	96
12- Anexos	101

Lista de Figuras

pg

Figura 1 - Motor Agrale M95W .	14
Figura 2 - Vista frontal do tanque de armazenagem.	16
Figura 3 - Vista superior do tanque de armazenagem.	17
Figura 4 - Tanque de sedimentação do HFO.	17
Figura 5 - Centrífuga.	18
Figura 6 - Tanque de armazenagem do MDO.	18
Figura 7 - Tanque de serviço do HFO.	19
Figura 8 - Vistas superior e frontal do tanque de serviço do HFO.	20
Figura 9 - Vista superior da tampa do tanque de serviço do HFO.	21
Figura 10 - Vista inferior da tampa do tanque de serviço do HFO.	22
Figura 11 - Vista lateral da tampa do tanque de serviço do HFO.	22
Figura 12 - Tanque de serviço do MDO.	23
Figura 13 - Furo de alimentação do tanque de serviço do MDO.	23
Figura 14 - Suporte selecionado para os tanques de armazenagem do HFO e do MDO.	24
Figura 15 - Base de suspensão do tanque de serviço do HFO.	25
Figura 16 - Base de suspensão do tanque de serviço do MDO.	25
Figura 17 - Suporte do tanque de serviço do HFO.	26
Figura 18 - Suporte do tanque de serviço do MDO.	27
Figura 19 - Tubos de acrílico extrudados.	29
Figura 20 - Exemplo de um extensômetro ou strain gage e suas dimensões.	32
Figura 21 - Exemplo de uma ponte de Wheatstone inteira.	33
Figura 22 -Gráfico temperatura x viscosidade de diversos tipos de óleos combustíveis marítimos.	38
Figura 23 - Manta de fibra cerâmica.	40
Figura 24 - Gráfico do coeficiente de condutividade térmica x temperatura média da manta de fibra cerâmica de diferentes densidades.	40
Figura 25 - Bobinas de folhas de alumínio.	41
Figura 26 - Convecção livre sobre um cilindro horizontal longo.	42
Figura 27 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO.	44

Figura 28 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.	47
Figura 29 - Convecção livre sobre uma placa vertical.	50
Figura 30 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO.	52
Figura 31 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através do fundo do tanque de serviço do HFO.	55
Figura 32 - Circuito de resistência térmica equivalente representando o fluxo de calor através da tampa do tanque de serviço do HFO.	57
Figura 33 - Classificação das tubulações industriais quanto ao emprego.	64
Figura 34 - Classificação das principais conexões de tubulação.	73
Figura 35 - Conexões rosqueadas.	74
Figura 36 - Furo rosqueado na superfície lateral do tê de redução.	75
Figura 37 - Furo rosqueado na superfície lateral do cotovelo de redução.	76
Figura 38 - Principais tipos de niples.	78
Figura 39 - Conexões para ligação de compressão.	79
Figura 40 - Guias dos tubos de acrílico.	81
Figura 41 - Aquecimento por tubo externo paralelo.	83
Figura 42 - Calhas de silicato de cálcio.	84
Figura 43 - Rolo de alumínio corrugado.	84
Figura 44 - Cálculo da perda de calor ao longo de um metro da tubulação do HFO.	85
Figura 45 - Válvula esfera.	86
Figura 46 - Viscomaster 7829	89
Figura 47 - Dimensões do Viscomaster 7829.	90
Figura 48 - Exemplos das possíveis localizações de instalação do Viscomaster 7829. .	90
Figura 49 - Termostato selecionado para controlar a temperatura do HFO presente no tanque de armazenagem, tanque de serviço e na tubulação.	92
Figura 50 - Representação da montagem do termopar.	93

Lista de Tabelas	pg
Tabela 1 - Tipos de combustíveis marítimos destilados x valores das propriedades.	5
Tabela 2 - Tipos de combustíveis marítimos residuais x valores das propriedades.	7
Tabela 3 - Propriedades do óleo combustível marítimo MF-380 (HFO).	11
Tabela 4 - Propriedades do óleo diesel marítimo (MDO).	12
Tabela 5 - Características técnicas do motor Agrale M95W.	15
Tabela 6 - Especificações técnicas do tanque de serviço do HFO.	21
Tabela 7 - Dimensões do suporte selecionado para o tanque de armazenagem do HFO e do MDO.	24
Tabela 8 - Propriedades mecânicas do acrílico.	29
Tabela 9 - Propriedades térmicas do acrílico.	29
Tabela 10 - Dimensões dos tubos de acrílico selecionados como indicadores de nível dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO.	30
Tabela 11 - Dimensões da rosca selecionada para os tubos de acrílico dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO.	30
Tabela 12 - Tampão selecionado para os tubos de acrílico dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO.	31
Tabela 13 - Modelo de balança selecionada para os tanques de armazenagem do HFO e do MDO.	31
Tabela 14 - Célula de carga selecionada para os tanques de serviço do HFO e do MDO.	35
Tabela 15 - Especificações técnicas do condicionador de sinal selecionado para as células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO.	36
Tabela 16 - Dimensões do gancho selecionado para as células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO.	37
Tabela 17 - Dados técnicos da manta de fibra cerâmica selecionada para fazer o isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO.	40
Tabela 18 - Dados técnicos da folha de alumínio selecionada para fazer o acabamento superficial do isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO.	41
Tabela 19 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre um cilindro horizontal.	43
Tabela 20 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa vertical.	46
Tabela 21 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa vertical.	51
Tabela 22 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa horizontal.	54

Tabela 23 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa horizontal. .	57
Tabela 24 - Resistência elétrica selecionada para o tanque de armazenagem do HFO. .	59
Tabela 25 - Resistência elétrica selecionada para o tanque de serviço do HFO.	62
Tabela 26 - Velocidades econômicas recomendadas para hidrocarbonetos.	70
Tabela 27 - Diâmetro externo dos tubos rígidos selecionados para as tubulações do HFO e do MDO.	71
Tabela 28 - Tubo flexível selecionado para as tubulações do HFO e do MDO.	71
Tabela 29 - Tê (3/4").	74
Tabela 30 - Tê de redução (2" x 2" x 1/2").	74
Tabela 31 - Dimensões da rosca selecionada para o furo rosqueado na superfície superior do tê de redução.	75
Tabela 32 - Cotovelo de redução (2" x 1").	76
Tabela 33 - Dimensões da rosca selecionada para o furo rosqueado na superfície superior do cotovelo de redução.	77
Tabela 34 - Buchas de redução.	77
Tabela 35 - Nipples BET.	78
Tabela 36 - Nipples BEP.	79
Tabela 37 - Conexões macho com rosca NPT macho.	80
Tabela 38 - Conexões fêmea com rosca NPT fêmea.	80
Tabela 39 - Tê união.	81
Tabela 40 - Resistor elétrico selecionado para aquecimento da tubulação do HFO.	85
Tabela 41 - Válvula esfera de duas vias com conexões Swagelok (dupla anilha) para tubos selecionada para as tubulações.	87
Tabela 42 - Válvula esfera de três vias com conexões Swagelok (dupla anilha) para tubos selecionada para as tubulações.	87
Tabela 43 - Materiais de construção das válvulas selecionadas.	88
Tabela 44 - Características do Viscomaster 7829.	91
Tabela 45 - Especificações resumidas do Viscomaster 7829.	91
Tabela 46 - Termopar selecionado.	94

1 – Introdução

1.1 – Motivação

Os óleos combustíveis marítimos utilizados na propulsão de navios de grande porte, na maioria das vezes, é o HFO, que usualmente apresenta alta viscosidade e um elevado teor de enxofre. De acordo com a norma ISO 8217 de 01 de novembro de 2005, estes podem atingir um teor de enxofre máximo de 4,5% e variar seu tipo de acordo com a viscosidade medida em centistokes (cSt) a 50°C. As diversas faixas de viscosidade atendem às necessidades dos motores, com base nas temperaturas possíveis de se aquecer o óleo na instalação que o utiliza. Além da diferença nos valores das viscosidades, a massa específica, os teores de água, vanádio, sódio, alumínio + silício, resíduo de carbono e teor de cinzas também distinguem os óleos combustíveis marítimos.

O MDO é utilizado prioritariamente nos sistemas auxiliares de geração de energia ou de emergência destas embarcações. Entretanto, também pode ser utilizado em motores principais, de propulsão, em embarcações de médio e pequeno porte.

1.2 – Objetivo

O objetivo desse trabalho é conceber e projetar uma unidade de aquecimento de combustível, condicionando-o para utilização em um motor a uma determinada viscosidade, para um banco provas, onde serão realizados testes específicos para avaliação de depósitos em bicos injetores no motor, que irá operar com óleo combustível marítimo pesado e com óleo diesel marítimo.

Baseado nesse objetivo do projeto, é necessário realizar os cálculos de projeto e selecionar/dimensionar todos os elementos presentes no sistema de forma que seja possível, finalmente, realizar a representação técnica da unidade em, com todos os detalhes no que diz respeito à geometria e à montagem de suas peças.

1.3 - Organização do trabalho

No capítulo um encontra-se a introdução, onde é apresentada a motivação, o objetivo e a organização do trabalho.

Já no segundo capítulo encontra-se uma breve introdução sobre os óleos combustíveis marítimos, suas classificações e suas principais propriedades. Por fim, são selecionados os dois tipos diferentes de óleos combustíveis marítimos, o HFO (Heavy Fuel Oil) e o MDO (Maritime Diesel Oil).

Em seguida, no terceiro capítulo, foi selecionado o motor para realização dos testes de depósitos em bicos injetores. Esta seleção foi feita através do estabelecimento de alguns critérios especificados mais adiante neste capítulo.

No capítulo seguinte, o quatro, está a descrição do que seria um tanque de armazenagem e um tanque de serviço, os critérios utilizados para a seleção destes, os tanques selecionados, os processos aos quais o HFO e o MDO serão submetidos antes de serem destinados aos seus respectivos tanques de armazenagem e as adaptações que deverão ser feitas em cada um dos tanques de serviço.

Já no capítulo cinco é possível encontrar os suportes dos tanques de armazenagem (cavaletes) e de serviço.

No capítulo seis encontram-se os indicadores de nível dos tanques de armazenagem (balanças e tubos de acrílico) e os indicadores de nível dos tanques de serviço (células de carga) juntamente com seus acessórios (condicionadores de sinal e ganchos).

O capítulo sete apresenta os cálculos de isolamento térmico e aquecimento do tanque de armazenagem e de serviço do HFO e os itens selecionados/dimensionados para essas atividades (mantas de fibra cerâmica, folhas de alumínio e resistências elétricas).

No capítulo oito estão apresentadas as tubulações industriais, suas classificações de acordo com o emprego, os principais materiais utilizados e os principais critérios adotados para a seleção do material, o material selecionado, o cálculo do diâmetro externo, o diâmetro externo selecionado, as tubulações rígidas e flexíveis selecionadas, tubulações de respiro, os principais meios de ligação e de conexão, seleção dos conectores, aquecimento e isolamento térmico e seleção dos seus componentes.

Em seguida, no nono capítulo, estão apresentados os acessórios selecionados para o sistema (válvulas, viscosímetro, termostatos e transdutores de temperatura).

O capítulo dez trata-se da conclusão do trabalho, onde são feitas as considerações necessárias e observações pertinentes ao projeto.

Finalmente, no capítulo onze e doze estão destacadas todas as referências bibliográficas consultadas ao longo do trabalho e os anexos respectivamente.

2 – Óleos combustíveis marítimos

2.1 – Introdução

Os óleos combustíveis marítimos são os principais combustíveis utilizados em navios de propulsão e certamente continuarão a oferecer uma contribuição valiosa no suprimento energético brasileiro para o futuro. Estes são produzidos a partir de petróleos das mais diversas origens, apresentando variações consideráveis em suas características.

Analisando o seu mercado, pode-se observar, que sempre houve a busca pelo tipo que proporcionasse a maior economia, direcionando a atenção para tipos mais viscosos e mais baratos. A dimensão, arranjo e característica do processo podem, todavia, restringir a viscosidade do combustível a ser queimado com eficiência, porque os combustíveis mais viscosos necessitam de níveis de temperaturas superiores, maiores investimentos em equipamentos de aquecimento e apresentam maiores custos operacionais. Todos estes aspectos devem ser considerados, bem como os custos globais de utilização de cada óleo combustível marítimo, antes da tomada de decisão pelo uso de um determinado tipo.

2.2 – Classificações

Os tipos de óleos combustíveis marítimos são especificados pela norma ISO 8217 de 01 de novembro de 2005. A seguir, nas Tabs. 1 e 2, pode-se observar os tipos de combustíveis marítimos destilados, residuais e os respectivos valores de suas propriedades:

Tabela 1 - Tipos de combustíveis marítimos destilados x valores das propriedades [1].

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F				Test method reference
			DMX	DMA	DMB	DMC ^a	
Density at 15°C	Kg/m ³	max.	-	890.0	900.0	920.0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Viscosity at 40°C	mm ² /s ^b	min.	1.40	1.50	-	-	ISO 3104
		max.	5.50	6.00	11.0	14.0	ISO 3104
Flash Point	°C	min.	-	60	60	60	ISO 2719
		min.	43	-	-	-	(see also 7.2)
Pour point (upper) ^c - winter quality -summer quality	°C	max.	-	-6	0	0	ISO 3016
		max.	-	0	6	6	ISO 3016
Cloud point	°C	max.	-16	-	-	-	ISO 3015
Sulfur ^c	% (m/m)	max.	1.00	1.50	2.00 ^e	2.00 ^e	ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)
Cetane index	-	min.	45	40	35	-	ISO 4264
Carbon residue on 10% (V/V) ditillation bottoms Carbon residue	% (m/m)	max.	030	0.30	-	-	ISO 10370
	% (m/m)	max.	-	-	0.30	2.50	ISO 10370
Ash % (m/m)	% (m/m)	max.	0.01	0.01	0.01	0.05	ISO 6245
Appearance ^f	-	-	Clear and bright		f	-	See 7.4 and 7.5
Total sediment. existent	% (m/m)	max.	-	-	0.10 ^f	0.10	ISO 10307-1 (see 7.5)
Water	% (V/V)	max.	-	-	0.3 ^f	0.3	ISO 3733
Vanadium	mg/kg	max.	-	-	-	100	ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)
Aluminium plus	mg/kg	max.	-	-	-	25	ISO 10478 or

silicon							IP 501 or IP 470 (see 7.9)
Used lubricating oil (ULO)	mg/kg	max.	-	-	-	The fuel shall be free of ULO ¹⁵	IP 501 or IP 470
- Zinc	mg/kg	max.					IP 501 or IP 500
- Phosphorus	mg/kg	max.	-	-	-		IP 501 or IP 470
- Calcium			-	-	-		(see 7.7)

a - Note that although predominantly consisting of distillate fuel, the residual oil proportion can be significant.

b - $1 \text{ mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$.

c - Purchasers should ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel operates in both the northern and southern hemispheres.

d - This fuel is suitable for use without heating at ambient temperatures down to -16° C .

e - A sulfur limit of 1.5 % (m/m) will apply in SO_x emission control areas designated by the International Maritime Organization, when its relevant protocols enter into force. There may be local variations, for example the EU requires that sulphur content of certain distillate grades be limited to 0.2 % (m/m) in certain applications.

f - If the sample is clear and with no visible sediment or water, the total sediment and water tests shall not be required.

g - A fuel shall be considered to be free of used lubricating oils (ULOs) if one or more of the elements zinc, phosphorus and calcium are below or at the specified limits. All three elements shall exceed the same limits before a fuel shall be deemed to contain ULOs.

Tabela 2 - Tipos de combustíveis marítimos residuais x valores das propriedades [1].

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F										Test method reference
			RMA 30	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMF 180	RMG 380	RMH 380	RMK 380	RMH 700	RMK 700	
Density at 15° C	Kg/m ³	max.	960.0	975.0	980.0	991.0		991.0		1010.0	991.0	1010.0	ISO 3675 or ISO 12185 (see also 7.1)
Kinematic viscosity at 50° C	mm ² /s ^a	max.	30.0		80.0	180.0		380.0		700.0		ISO 3104	
Flash point	°C	max.	60		60	60		60		60		ISO 2719 (see also 7.2)	
Pour point (upper) ^b - winter quality - summer quality	°C	max.	0	0	30	30		30		30		ISO 3016	
	°C	max.	6	24	30	30		30		30			
Carbon residue	% (m/m)	max.	10		14	15	20	18	22		22	ISO 10370	
Ash	% (m/m)	max.	0.10		0.10	0.10	0.15	0.15		0.15		ISO 6245	
Water	% (V/V)	max.	0.5		0.5	0.5		0.5		0.5		ISO 3733	
Sulfur ^c	% (m/m)	max.	3.5		4.0	4.5		4.5		4.5		ISO 8754 or ISO 14596 (see also 7.3)	
Vanadium	mg/kg	max.	150		350	200	500	300	600		600	ISO 14597 or IP 501 or IP 470 (see 7.8)	
Total sediment potential	% (m/m)	max.	0.10		0.10	0.10		0.10		0.10		IP 501 or IP 470 (see 7.8)	
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	80		80	80		80		80		ISO 10478 or IP 501 or IP	

								470 (see 7.9)
Used lubricating oil (ULO)	mg/kg	max.	The fuel shall be free of ULO ^d					IP 501 or IP
- Zinc		max.				- 15		470 (see 7.7)
- Phosphorus		max.				- 15		
- Calcium		max.				- 30		
<p>a - Annex C gives a brief viscosity/temperature table, for information purposes only. 1 mm²/s = 1 cSt</p> <p>b - Purchasers should ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially if the vessel operates in both the northern and southern hemispheres.</p> <p>c - A sulfur limit of 1.5 % (m/m) will apply in SOx emission control areas designated by the International Maritime Organization, when its relevant protocol comes into force. There may be local variations.</p> <p>d - A fuel shall be considered to be free of ULO if one or more of the elements zinc, phosphorus and calcium are below or at the specified limits. All three elements shall exceed the same limits before a fuel shall be deemed to contain ULO.</p>								

2.3 – Propriedades

2.3.1 - Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática é uma medida para a fluidez do produto a uma determinada temperatura. A viscosidade de um combustível diminui com o aumento da temperatura. No momento em que o combustível deixa os injetores, sua viscosidade deve estar dentro dos limites pré-estabelecidos pelo fabricante do motor, obtendo-se um padrão de pulverização ideal. Caso a viscosidade do combustível nos injetores esteja fora das especificações pré-estabelecidas pelo fabricante do motor, a combustão ocorrerá de maneira inadequada, ocasionando a formação de depósitos e perda de energia. A viscosidade do combustível deve ser tal que a viscosidade de injeção necessária possa ser atingida no sistema de pré-aquecimento/aquecimento [2].

A viscosidade cinemática é o único método aceito, expressa em mm²/s (mm²/s = 1cSt), a uma determinada temperatura. A norma ISO 8217 de 01 de novembro de 2005 lista as viscosidades cinemáticas máximas a 50 °C [2].

2.3.2 – Densidade

A massa (peso no vácuo) do líquido por unidade de volume a 15°C. A unidade oficial é kg/m³ a 15°C, enquanto kg/l a 15°C é a unidade mais utilizada. A norma ISO 8217 de 01 de novembro de 2005 lista as densidades máximas 15°C [2].

2.3.3 – Resíduo de carbono

O resíduo de carbono é determinada por um teste de laboratório realizado sob alimentação de ar reduzida e especificada. Ele não representa as condições reais de combustão no motor. Serve para dar uma indicação da quantidade de hidrocarbonetos no combustível que têm características de combustão difícil, mas não existe uma correlação entre os dados conclusivos do teste e a combustão real. O método utilizado para determinação de resíduo de carbono é o MCR (Micro Carbon Residue), prescrito na norma ISO 8217 de 01 de novembro de 2005 [2].

2.3.4 – Cinza

Cinza é o resíduo mineral que permanece da combustão completa do óleo combustível. Os componentes da cinza (compostos de metal) podem causar a formação de depósitos em superfícies de troca térmica. Quando em proporções elevadas, a cinza pode fundir-se e causar a corrosão de alta temperatura nos metais e reagir com os materiais cerâmicos (isolamentos térmicos e forros internos) [3].

2.3.5 – Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a temperatura em que o óleo desprende vapores que, em contato com o oxigênio presente no ar, podem entrar em combustão momentânea, na presença de uma fonte de calor. O ponto de fulgor não tem relação direta no desempenho do combustível, mas um valor mínimo é estabelecido para garantir segurança no armazenamento e manuseio do produto [3].

2.3.6 - Teor de enxofre

O teor de enxofre dos combustíveis marítimos depende da origem do petróleo bruto e do processo de refino. Os óxidos de enxofre formados na combustão geralmente não causam problemas, contanto que todas as superfícies em contato com os gases de combustão sejam mantidas em temperatura acima do ponto de orvalho do ácido sulfúrico, evitando-se, assim, a condensação de ácidos corrosivos e, conseqüentemente, corrosão no sistema [2 e 3].

2.3.7 - Água e sedimentos

O óleo combustível pode reter pequena quantidade destes materiais em suspensão. Por especificação, a quantidade de água e sedimentos dos óleos combustíveis residuais não pode exceder a 2,0% em volume. Durante a utilização dos combustíveis em clientes, os tanques de armazenagem podem acumular água e sedimentos [3].

2.3.8 – Ponto de fluidez

Ponto de fluidez é a menor temperatura em que o combustível ainda escoar. Este ponto é uma medida importante para a determinação das características de armazenagem e de transporte do combustível na instalação. Não há uma relação direta entre o ponto de fluidez e a viscosidade do óleo combustível [3].

2.3.9 – Poder calorífico

Poder calorífico é a quantidade de calor liberada pela reação de combustão completa de uma unidade de massa do combustível, sendo expresso normalmente em kcal/kg (no SI em kJ/kg). O calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um combustível numa bomba de volume constante, com toda água condensada (no estado líquido), é definido como Poder Calorífico Superior (PCS). Já o Poder Calorífico Inferior (PCI) apresenta o calor liberado pela combustão de uma unidade de massa de um combustível, em pressão constante, com a água permanecendo no estado de vapor [3].

$$\text{PCI} = \text{PCS} - \text{entalpia de vaporização da água}$$

2.3.10 – Calor específico

O valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio é [3]:

$$C_m = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \text{ (2,1 kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

2.4 – Seleção dos combustíveis

Os testes específicos para avaliação de depósitos em bicos injetores serão realizados no motor serão feitos com dois tipos diferentes de combustíveis: HFO (Heavy Fuel Oil) e MDO (Maritime Diesel Oil). Os combustíveis selecionados foram o óleo combustível marítimo MF-380, como HFO e o óleo diesel marítimo, como MDO. Seguem as Tabs. 3 e 4 com as propriedades de cada um deles.

Tabela 3 - Propriedades do óleo combustível marítimo MF-380 (HFO) [4].

Aspecto:	Líquido viscoso e escuro.
Odor:	Característico de hidrocarbonetos.
Ph:	Não aplicável.
Ponto de fusão/ponto de congelamento:	Não aplicável.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:	Não aplicável.
Ponto de fulgor:	60 °C; Método: vaso fechado.
Taxa de evaporação:	Muito lenta.
Inflamabilidade:	Produto inflamável.
Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:	Não disponível.
Pressão de vapor:	Desprezível.
Densidade de vapor:	Não disponível.
Densidade:	0,9878.
Solubilidade:	Na água: desprezível. Em solventes orgânicos: Não disponível.
Coefficiente de partição – n-octanol/água:	Não disponível.
Temperatura de auto-ignição:	Não aplicável..
Temperatura de decomposição:	Não disponível.
Viscosidade:	380 Cst @ 50 °C, Método: MB 293
Faixa de destilação:	Não disponível.
Ponto de combustão:	Não disponível.

Tabela 4 - Propriedades do óleo diesel marítimo (MDO) [5].

Aspecto:	Líquido límpido (isento de materiais em suspensão).
Odor:	Característico.
pH:	Não aplicável.
Ponto de fusão/ponto de congelamento:	Não disponível.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição:	Não disponível.
Ponto de fulgor:	60 °C (mín); Método: vaso fechado, NBR 7974.
Taxa de evaporação:	Não disponível.
Inflamabilidade:	Produto inflamável.
Limite inferior/superior de inflamabilidade ou explosividade:	Não disponível.
Pressão de vapor:	Não disponível.
Densidade de vapor:	Não disponível.
Densidade:	0,82 - 0,88 @ 20 °C; Método NBR7148.
Solubilidade:	Na água: Insolúvel. Em solventes orgânicos: Solúvel.
Coefficiente de partição – n-octanol/água:	Log kow: 7,22 (dado estimado).
Temperatura de auto-ignição:	Não disponível.
Temperatura de decomposição:	400°C.

3 - Seleção do motor

A seleção do motor para realização dos testes (depósitos em bicos injetores) foi feita através do estabelecimento de alguns critérios, para depois ser realizada uma ampla pesquisa por diferentes marcas e modelos de motores, tanto nacionais quanto importados, que fossem capazes de atendê-los. O estabelecimento dos critérios e a pesquisa foram realizados durante o desenvolvimento Projeto de Graduação do aluno Rafael Fleischman [6].

Critérios estabelecidos para a seleção do motor mais adequado à pesquisa [6]:

- Motor de ignição por compressão;
- Baixa potência desenvolvida - evitar altos custos com a aquisição de equipamento e de combustíveis durante os testes;
- Baixo consumo de combustível - evitar altos custos com a aquisição de equipamento e de combustíveis durante os testes;
- Motor monocilíndrico;
- Arrefecimento por radiador a água - permitir o controle da temperatura da água de arrefecimento (mais um parâmetro de controle);
- Injeção direta de combustível;
- Operação em 2 tempos - tendem a apresentar maior formação de depósitos em bicos injetores do que motores de 4 tempos;
- Partida elétrica.

Realizou-se uma extensa pesquisa, listando diversos modelos de motores nacionais e importados e discriminando seus principais parâmetros de operação. Em seguida, analisou-se, um a um, se os motores atenderiam aos critérios estabelecidos, eliminando os que não atendessem [6].

Contudo, o único critério que não pode ser atendido foi a seleção de um motor que operasse em 2 tempos, devido à legislação nacional cada vez mais rigorosa em relação ao controle de poluentes, os fabricantes de motores estacionários de pequeno

porte estão deixando de produzi-los. Por este motivo, foi necessário adquirir um motor que funcione com ciclo de trabalho de 4 tempos [6].


Portanto, selecionou-se o motor estacionário Agrale M95W por ser o único fabricado por indústria nacional, a Lintec Veículos e Motores Ltda, uma empresa subsidiária da Agrale S.A, com sede em Caxias do Sul, RS. Além disso, levou-se em consideração o fato que o Laboratório de Máquinas Térmicas da UFRJ, já realizou pesquisas utilizando motores desta empresa, os quais tiveram um desempenho bom e confiável [6].

O motor Agrale M95W é um motor de ignição por compressão, ciclo de 4 tempos, com um cilindro vertical, refrigerado a água, fabricado para trabalhar com DO. Logo, serão necessárias algumas trocas de peças originais por peças capazes atender as novas condições operacionais (maiores pressões, temperaturas, desgastes etc.), de modo com que este seja capaz de trabalhar também com HFO. A Fig. 1 ilustra este motor e algumas de suas características principais podem ser observadas na Tab. 5.



Figura 1 - Motor Agrale M95W [7].

Tabela 5 - Características técnicas do motor Agrale M95W [7].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	M95W 
REFRIGERAÇÃO	
Modo de Refrigeração	Líquida
Potência NF (NBR ISO 1585) Cv/ kW/rpm	17,5/12,8/3000
Potência NB (NBR 6396/ISO 3046) Cv/kW/rpm	16,5/12,1/3000
Potência NA (NBR 6396/ISO 3046) Cv/kW/rpm	15,5/11,4/3000
Torque Máximo (NBR ISO 1585) daNm/rpm	4,2/2500
Número de Cilindros	1Vertical
Diâmetros do cilindro (mm)	95
Curso de Pistão (mm)	105
Cilindrada (cm ³)	744
Taxa de Compressão	21:01
Capacidade do Cárter (litros)	3
Capacidade do tanque de combustível (litros)	12,5
Consumo de Combustível (g/kWh)	248
Sistema de Partida	Manual por manivela / Elétrica Opcional
Sistema de Injeção	Direta
Peso a Seco, Versão Standard (kg)	170
Volume de Água para refrigeração do motor	NA
Comprimento (mm)	683
Altura (mm)	702
Largura (mm)	575

4 - Tanques

4.1 - Tanques de armazenagem

Tanque de armazenagem é o reservatório construído para acumulação de petróleo ou seus derivados. A capacidade dos tanques de armazenagem das instalações industriais é muito importante, pois, normalmente, é calculada através de um volume que possibilite um estoque operacional. Normalmente são fornecidos com suas superfícies externas pintadas com um primer inibidor de corrosão e com tinta de acabamento de esmalte alquídico [3].

Os tanques de armazenagem selecionados para armazenagem do HFO e do MDO são tambores de 200 l de capacidade, disponíveis no Laboratório de Máquinas Térmicas (LMT). Os critérios utilizados para a escolha dos tambores de 200 l como tanques de armazenagem foram:

- O combustível é fornecido nesses tambores;
- Número de horas de operação do motor;
- Manuseio fácil.

A seguir a Fig. 2 ilustra a vista frontal do tanque enquanto que a Fig. 3 ilustra a vista superior do mesmo.



Figura 2 - Vista frontal do tanque de armazenagem.

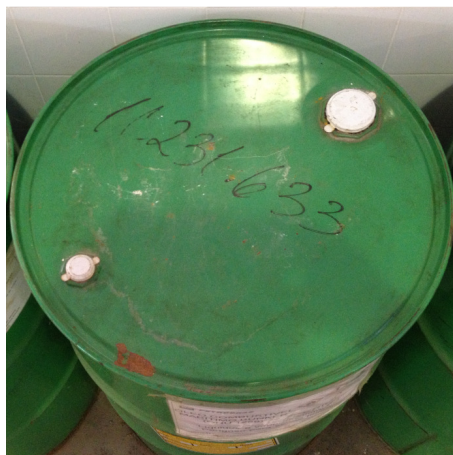


Figura 3 - Vista superior do tanque de armazenagem.

Como os combustíveis são fornecidos em tambores de 200 l, é preciso destiná-los aos seus respectivos tanques de armazenagem, porém, antes disso, o HFO será submetido aos processos de decantação e centrifugação e o MDO será submetido apenas ao processo de decantação. Finalmente, depois destes processos, os combustíveis serão devolvidos aos seus respectivos tanques de armazenagem (tambores de 200 l) prontos para serem utilizados. A seguir as Figs. 4, 5 e 6 ilustrando o tanque de decantação do HFO, a centrífuga e o tanque de decantação do MDO, respectivamente.



Figura 4 - Tanque de sedimentação do HFO.



Figura 5 - Centrífuga.



Figura 6 - Tanque de armazenagem do MDO.

4.2 - Tanques de serviço

Tanque de serviço é o reservatório especialmente construído para operações auxiliares e/ou distribuição dos produtos. Os tanques de serviço são tanques auxiliares de pequena capacidade, localizados entre o tanque de armazenagem e o motor. A principal razão de se instalar um tanque de serviço é a de proporcionar uma reserva limitada de combustível próxima ao ponto de consumo, quando o tanque de armazenagem estiver muito distante [3]. Outra razão para utilizarmos tanques de serviço deve-se ao fato do motor consumir pouco combustível e, portanto, quanto menor for o tanque utilizado para pesagem, melhor será a precisão obtida na medição da massa de combustível consumida pelo motor.

4.2.1 - Tanque de serviço do HFO

Os critérios utilizados para a seleção do tanque de serviço do HFO foram:

- Pequena capacidade;
- Possuir isolamento térmico;
- Resistência ao HFO;
- Manuseio fácil.

Portanto, utilizando os critérios mencionados acima, o tanque de serviço selecionado para o HFO foi o "Precision Oxidation Stability Bath", disponível no Laboratório de Máquinas Térmicas (LMT). A Fig. 7 ilustra o tanque, a Fig. 8 mostra as vistas superior e frontal e na Tab. 6 encontram-se as especificações técnicas do mesmo.

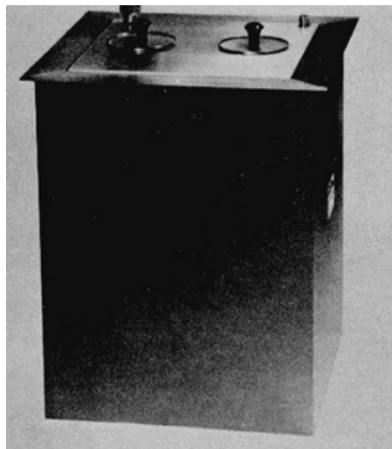


Figura 7 - Tanque de serviço do HFO [8].

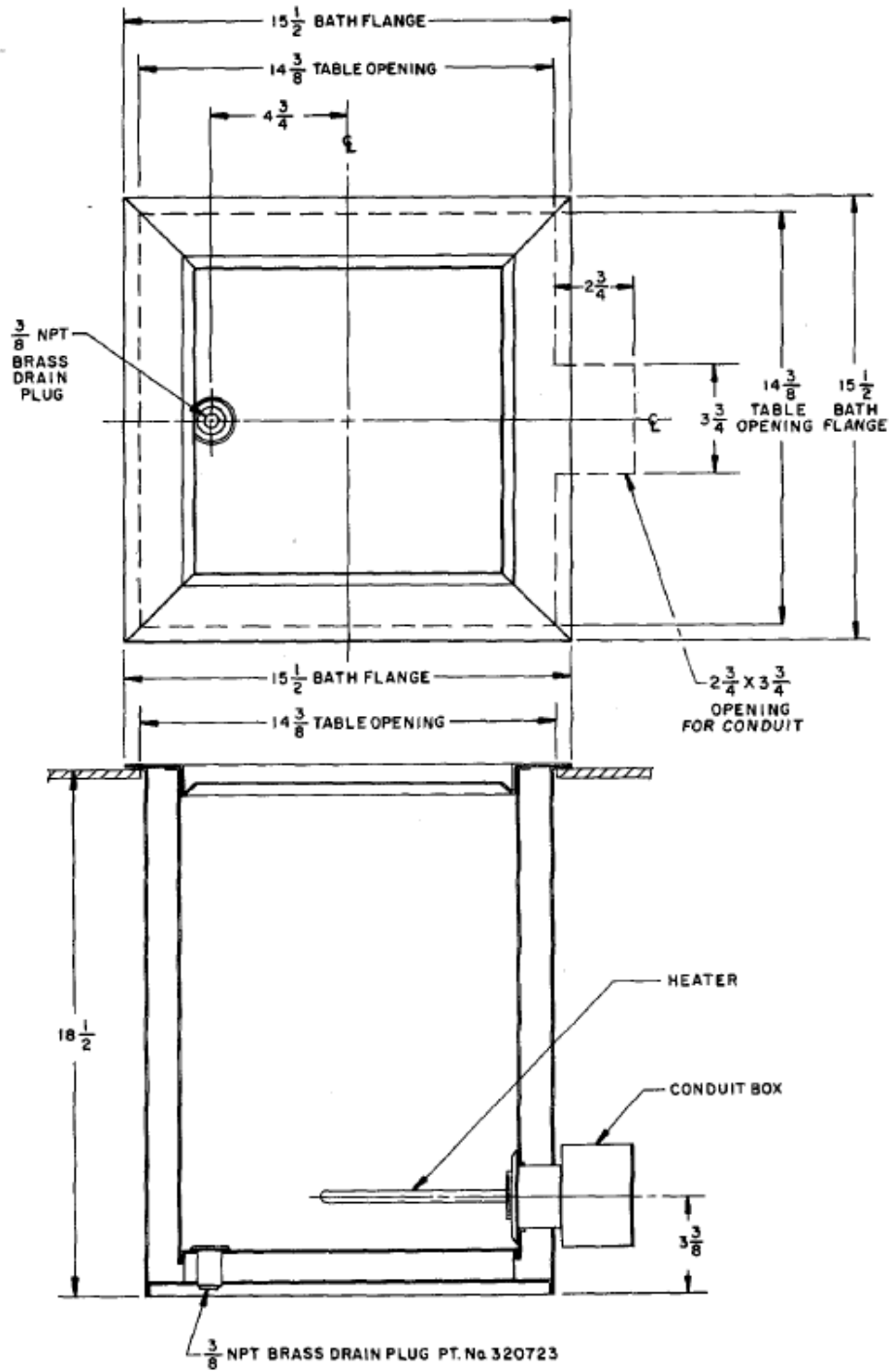


Figura 8 - Vistas superior e frontal do tanque de serviço do HFO [8].

Tabela 6 - Especificações técnicas do tanque de serviço do HFO [8].

Test method conformance:	ASTM D-525, IP-40, DIN 51780 ASTM D-873, IP-138, DIN 51799 Fed. Test Method Std. No.791a(Method 33545).
Max. rated temperature	100C
Time to reach max. temp.....	1/2 hours
Bomb capacity	2
Liquid capacity	2 gallons(7.6 liters)
Wattage	500,1000,2000
Cabinet dimensions	14"(355.6mm)W 14"(355.6mm)D, 19"(4826 mm)H
Condenser length	814"(209.6mm)L

Será necessário fabricar uma nova tampa para este tanque, uma vez que a tampa original não foi encontrada. Esta será fabricada a partir de uma chapa de aço inox de 3 mm de espessura, cortada nas dimensões especificadas com o auxílio de uma guilhotina, soldada com eletrodos revestidos ao pegador e às cantoneiras, fabricados a partir de barras chatas de 1/8" de espessura por 1" de largura, também de aço inox e cortadas nas dimensões especificadas com o auxílio de uma guilhotina, além de serem dobrados manualmente, permitindo uma fácil remoção da tampa por parte do operador e o acoplamento às paredes laterais internas do tanque. Finalmente, a tampa será furada, permitindo a alimentação de HFO e retorno de HFO/respiro do tanque. As vistas superior, inferior e lateral da tampa podem ser vistas nas Figs. 9, 10 e 11, respectivamente.

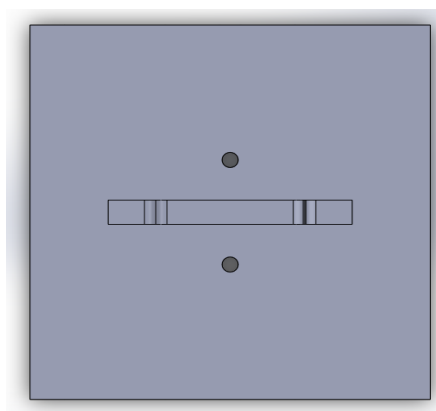


Figura 9 - Vista superior da tampa do tanque de serviço do HFO.

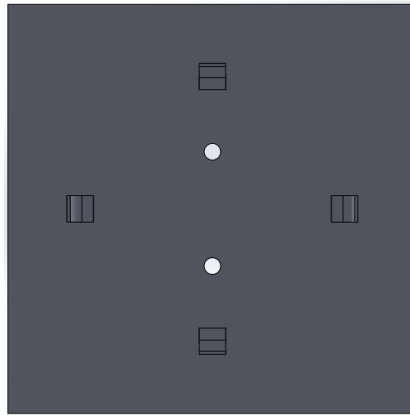


Figura 10 - Vista inferior da tampa do tanque de serviço do HFO.

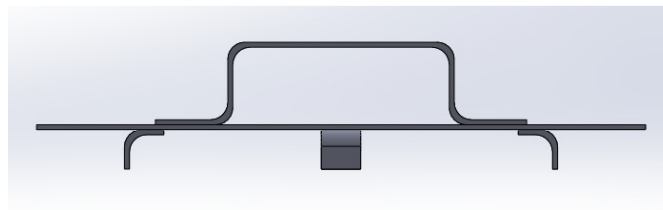


Figura 11 - Vista lateral da tampa do tanque de serviço do HFO.

4.2.2 - Tanque de serviço do MDO

Os critérios utilizados para a seleção do tanque de serviço do MDO foram:

- Pequena capacidade;
- Resistência ao MDO;
- Manuseio fácil.

Portanto, o tanque de serviço selecionado para o MDO foi o próprio tanque de combustível do motor Agrale M95W. A Fig. 12 ilustra este tanque.

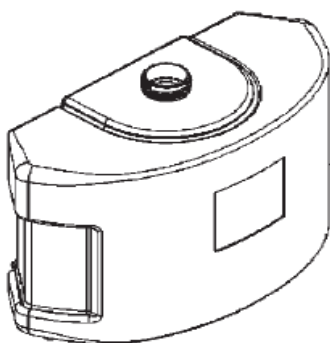


Figura 12 - Tanque de serviço do MDO [7].

A única alteração que deverá ser efetuada é a realização de um furo na tampa do tanque, permitindo a alimentação contínua de MDO a partir do tanque de armazenagem. O diâmetro do furo deverá ser igual ao diâmetro externo da tubulação de alimentação do tanque, ou seja, igual a 16 mm. A Fig. 13 ilustra o furo na tampa do tanque de serviço do MDO.

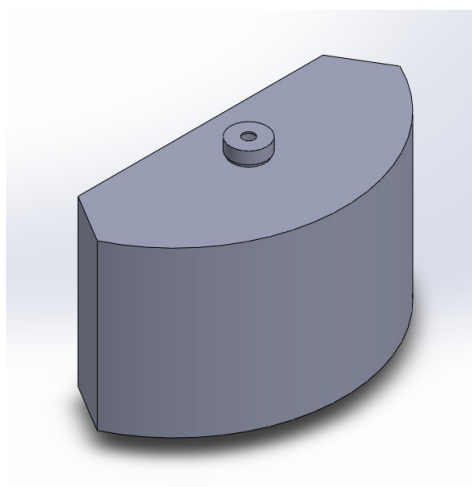


Figura 13 - Furo de alimentação do tanque de serviço do MDO.

5 - Suportes dos tanques de armazenagem e de serviço

5.1 - Suportes dos tanque de armazenagem

Os suportes do tanque de armazenagem do HFO e do MDO serão idênticos, ou seja, cavaletes responsáveis tanto por fazer a movimentação dos tanques de armazenagem da posição vertical para horizontal, quanto facilitar o transporte destes. A Fig. 14 mostra o cavalete selecionado e a Tab. 7 apresenta suas dimensões.



Figura 14 - Suporte selecionado para os tanques de armazenagem do HFO e do MDO [9].

Tabela 7 - Dimensões do suporte selecionado para o tanque de armazenagem do HFO e do MDO [9].

Altura [cm]	62
Largura [cm]	57
Comprimento [cm]	87
Peso [Kg]	22
Cor	Vermelho Munsell M.5R 4/14

5.2 - Suportes dos tanques de serviço

Como os tanques de serviço do HFO e do MDO serão suspensos, será necessário fabricar suportes capazes de mantê-los em equilíbrio a uma determinada altura e resistir ao peso dos tanques e seus equipamentos. Antes de montar os suportes dos tanques de serviço, serão fabricadas as bases de suspensão de cada tanque. A base do tanque de serviço do HFO será fabricada a partir do corte das barras chatas de 1/8" de espessura por 1" de largura em comprimentos especificados. Sendo assim, as barras chatas de 1/8"

de espessura por 1" de largura que foram cortadas para formar os olhais, serão furadas, obtendo-se furos nos olhais com diâmetros maiores ao do cabo de aço, ou seja, 5,0 mm. Por fim, as barras chatas de 1/8" de espessura por 1" de largura serão soldadas com eletrodos revestidos. A base do tanque de serviço do MDO será fabricada conforme descrito acima, porém, as barras chatas de 1/8" de espessura por 1" de largura cortadas nas dimensões especificadas serão dobradas manualmente. Nas Figs. 15 e 16 pode-se observar as ilustrações das bases de suspensão do HFO e do MDO.

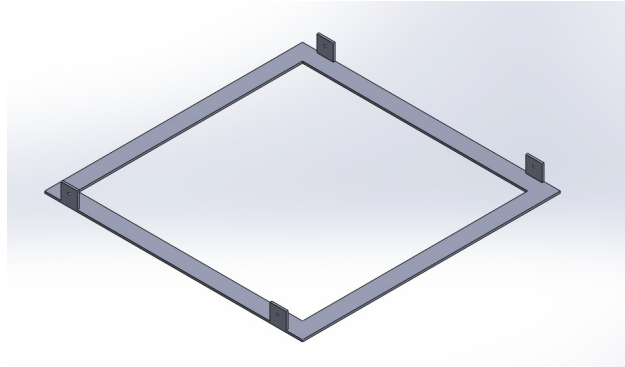


Figura 15 - Base de suspensão do tanque de serviço do HFO.

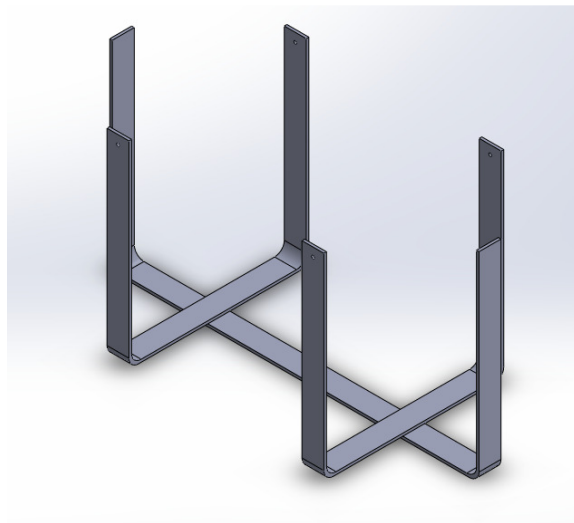


Figura 16 - Base de suspensão do tanque de serviço do MDO.

Os suportes dos tanques de serviço do HFO e o do MDO serão produzidos através de dois conjuntos de cabos de aço de comprimentos diferentes. Cada conjunto possuirá quatro cabos com o mesmo comprimento, com laços em suas extremidades que

serão presos por grampos espaçados uniformemente. Em uma das extremidades de cada conjunto haverá um anelão de sustentação conectado, cujo objetivo é concentrar o peso de cada suporte em um único ponto de içamento. Cada base de suspensão será presa aos laços da outra extremidade do conjunto de cabos de aço através dos olhais, formando os suportes. As Figs. 17 e 18 a seguir mostram os suportes dos tanques de serviço do HFO e do MDO.



Figura 17 - Suporte do tanque de serviço do HFO.



Figura 18 - Suporte do tanque de serviço do MDO.

6 - Indicadores de nível

Existe uma grande variedade de sistema de indicação de nível, cada um com suas vantagens e limitações. A seleção do sistema de indicação a ser utilizado deverá considerar as características específicas da aplicação, o tipo de produto cujo o nível se quer medir, a precisão desejada, custos, localização (leitura fácil) e demais restrições existentes.

Os dispositivos de indicação indicam ou a posição da superfície do líquido sobre um ponto de referência ou a altura hidrostática criada pelo líquido cuja superfície se deseja conhecer.

Baseado nesses dois princípios, os indicadores de nível são classificados como:

- Medição direta - é a medição que se faz tendo como referência a posição do plano superior da substância medida;
- Medição indireta - é o tipo de medição que se faz para determinar o nível em função de uma segunda variável.

O espaço entre o nível de combustível armazenado no tanque e o teto do mesmo é conhecido como espaço vazio. Sempre deve existir um pequeno espaço vazio quando o indicador de nível marcar tanque cheio. Isto previne a saída de óleo pelo respiro, devido à expansão térmica [3].

A seguir estão descritos os métodos utilizados para a indicação de nível nos tanques de armazenagem e de serviço.

6.1 - Indicadores de nível dos tanques de armazenagem

Os níveis dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO serão controlados duas maneiras: diretamente (tubo de acrílico acoplado à saída de cada tanque, estabelecendo o princípio de vasos comunicantes) indiretamente (balança que medirá a massa de combustível presente em cada tanque).

6.1.1 - Tubo de acrílico

Quando o acrílico é escolhido para determinada aplicação, deve-se lembrar de que transparência, brilho e as dimensões finais das peças não são afetados pela exposição à ambientes com atmosfera corrosiva [10].

O peso reduzido, resistência e a durabilidade qualificam-no para muitos trabalhos que poderiam ser direcionados para o vidro [10]. A seguir, nas Tabs. 8 e 9, pode-se observar os valores das propriedades mecânicas e térmicas do acrílico, respectivamente.

Tabela 8 - Propriedades mecânicas do acrílico [11].

Peso específico	G/cm ²	1.19
Resistência à tração 20°C	Kg/cm ²	750
Mod. de elasticidade	Kg/cm ²	32.000
Resistência ao impacto	Mkg/cm ²	0,12 -0,16
Dureza (rockwell)		M-100

Tabela 9 - Propriedades térmicas do acrílico [11].

Carlo específico	Ca/g°C	0.35
Coef. dilatação linear	Mm/m°C	0,08
Temp. deformação sem carga	°C	90

Os tubos de acrílico estão disponíveis nas opções fundidos ou extrudados. O processo de fundição é o de maior custo, mas possibilita uma melhor qualidade do produto. Os extrudados são produzidos em equipamentos convencionais de extrusão, onde os grânulos acrílicos são comprimidos através de matrizes extremamente polidas para obtenção de produtos finais. Marcas da matriz e outras imperfeições fazem dos produtos extrudados produtos menos atraentes [10]. A seguir, na Fig. 19 e na Tab. 10, pode-se observar alguns tubos de acrílicos extrudados e as dimensões dos tubos de acrílico selecionados como indicadores de nível dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO, respectivamente.

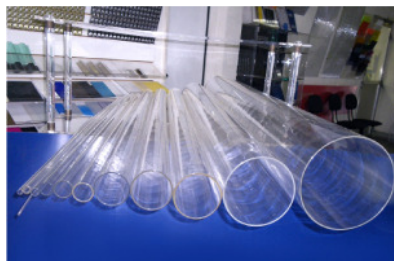


Figura 19 - Tubos de acrílico extrudados [12].

Tabela 10 - Dimensões dos tubos de acrílico selecionados como indicadores de nível dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO [12].

Diâmetro Externo Polegada	Diâmetro Externo (milímetro)	Parede (mm)	Comprimento (mm)
3/4	19,05	3	1800

Será necessário fazer o rosqueamento externo das duas extremidades dos tubos de acrílico, uma para o acoplamento junto aos tanques de armazenagem do HFO e do MDO, e a outra para o acoplamento dos tubos de acrílico junto aos tampões que fecharão uma das extremidades. Para isso, são utilizadas ferramentas como machos, cossinetes e desandadores. Onde houver a possibilidade de escolha, aconselha-se trabalhar com roscas grossas de passo largo. É comum atarraxar a mão e os machos devem ser movidos levemente para ajustar a saída dos cavacos. Há necessidade de se empregar lubrificante, tais como óleo solúvel de corte ou água. Também será necessário fazer um furo de respiro na superfície superior do tampão. A seguir, as Tabs. 11 e 12 mostram as dimensões da rosca e o tampão selecionados para os tubos de acrílico dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO, respectivamente.

Tabela 11 - Dimensões da rosca selecionada para os tubos de acrílico dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO [13].

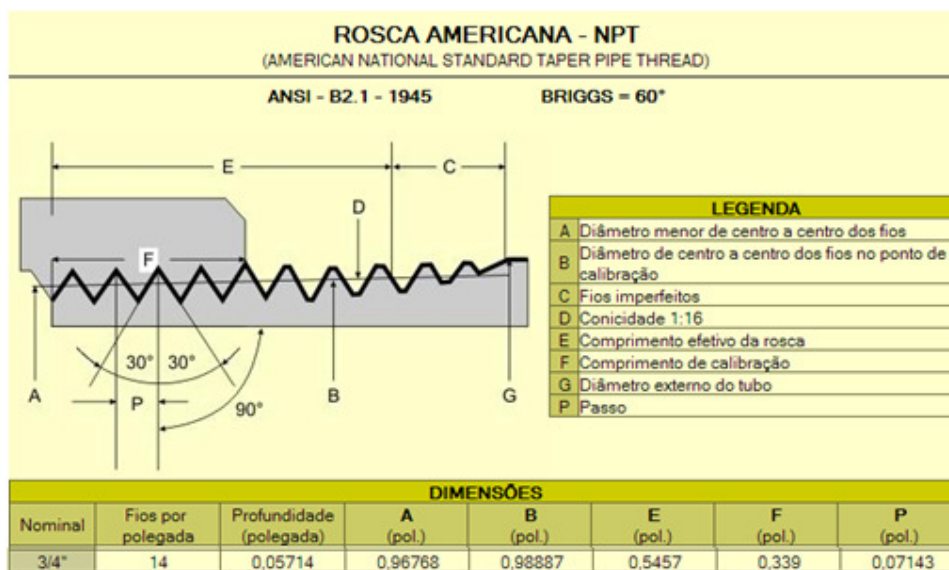


Tabela 12 - Tampão selecionado para os tubos de acrílico dos tanques de armazenagem do HFO e do MDO [14].

1055	TAMPÕES			
	Diâmetro Nominal		Dimensão em mm	Peso Unit.
	Polegada	mm	P (mín)	Galv. g
	¾	20	24,6	91

6.1.2 - Balança

A seguir estão os principais critérios utilizados para a seleção das balanças que irão fazer a medição da massa de combustível presente nos tanques de armazenagem do HFO e do MDO e suas características/especificações técnicas.

Os critérios utilizados para a seleção das balanças foram:

- Capacidade nominal;
- Dimensões da plataforma;
- Interface serial RS-232 ou USB;
- Preço.

Portanto, após fazer uma pesquisa no mercado de balanças, chegou-se a conclusão de que o modelo de balança que melhor atendeu aos critérios mencionados acima foi (Tab. 13):

Tabela 13 - Modelo de balança selecionada para os tanques de armazenagem do HFO e do MDO [15].



Descrição
MIC 300H – 300 kg – plat. 0,80 x 0,80

6.2 - Indicador de nível dos tanques de serviço

Os níveis dos tanques de serviço do HFO e do MDO serão controlados indiretamente por células de carga, logo, dependendo da sua precisão, também conseguiremos uma medida do consumo de HFO e de MDO. O uso de células de carga, como transdutores de medição de força, abrange hoje uma vasta gama de aplicações, desde balanças comerciais até automatização e controle de processos industriais.

O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro ou strain gage, quando submetido a uma deformação. Utiliza-se comumente em células de carga quatro extensômetros ligados entre si segundo a ponte de Wheatstone e o desbalanceamento da mesma, em virtude da deformação dos extensômetros, é proporcional à força que a provoca [16]. É através da medição deste desbalanceamento que se obtém o valor da força aplicada. Na Fig. 20, segue o exemplo de um extensômetro ou strain gage e suas dimensões.

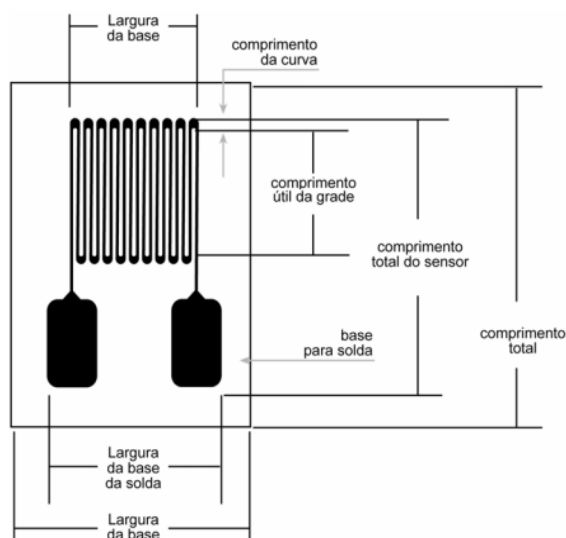


Figura 20 - Exemplo de um extensômetro ou strain gage e suas dimensões [16].

Existem alguns tipos de ponte; a ponte $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e ponte inteira, sendo que a inteira possui maior sensibilidade a pequenas variações e, portanto, é a mais apropriada para aplicações em célula de carga. A seguir, na Fig. 21, há o exemplo de uma ponte de Wheatstone inteira [16].

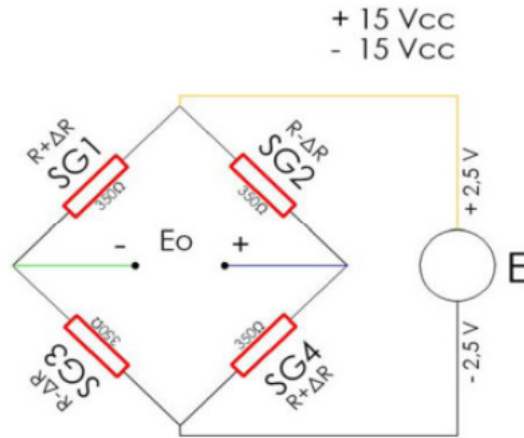


Figura 21 - Exemplo de uma ponte de Wheatstone inteira [16].

Critérios utilizados na seleção de uma célula de carga [16]:

- Capacidade nominal: força máxima que ela deverá medir (os fatores de segurança, 50% de sobrecarga contra danos de funcionamento e 300% para a ruptura, são intrínsecos a própria célula).
- Sensibilidade: a medição do desbalanceamento da ponte de Wheatstone é feita através da variação da tensão de saída em função da tensão de excitação aplicada na entrada da ponte. Quando a célula de carga está carregada, este valor é dado em milivolt por volt aplicado e, normalmente, entre 2 e 3 mV/V. Isto significa que uma célula de carga de 30 kg de capacidade nominal e 2 mV/V de sensibilidade, com uma tensão de excitação na entrada de 10 V, quando sujeita a uma força de 30 Kg apresentará na saída uma variação de tensão de 20 mV.
- Precisão: é o erro máximo admissível relacionado em divisões da capacidade nominal.
- Formato: de acordo com a aplicação, determinados formatos são requeridos, considerando se a carga é apoiada (células tipo viga) ou se a carga é sustentada (célula tipo Z), ou ainda se a carga introduz momentos torsores na célula (células tipo single point).
- Ambiente de trabalho: ambientes úmidos quimicamente agressivos requerem células de carga herméticas, com grau de proteção IP67. Dever ser evitado o uso de células de carga em ambientes sujeito à vibração intensa, apesar do projeto das mesmas incluir uma verificação de frequência natural, no sentido de se evitar o fenômeno de ressonância. O uso de células de carga em ambientes

explosivos deve ser acompanhado por barreiras de segurança intrínseca. Alerta-se que o uso de barreiras de segurança intrínseca inserem resistências em série nos circuitos, o que poderia baixar as tensões de excitação. É recomendável o uso de indicadores que compensem esta diminuição através de ligações a 7 fios (tipo Kelvin).

- Dispositivos de montagem: devem ser escolhidos visando não transmitir à célula de carga nenhum outro esforço que não seja o da força a medir e, portanto, visando assegurar para a carga todos os graus de liberdade de deslocamento possíveis, à exceção do relativo à direção da força a medir.
- Tempo de pesagem: muitas vezes dispõe-se de um tempo limitado para se efetuar a pesagem. Neste caso deve-se considerar 1 segundo como um tempo mínimo para cada pesagem, considerando-se o amortecimento das oscilações que a célula sofre ao receber o carregamento. Eventualmente este tempo pode ser reduzido através do uso de sistemas de amortecimento.

Portanto, utilizando os critérios mencionados acima, a célula de carga que melhor os atendeu foi a célula de carga com capacidade de 50 kg, indicada na Tab. 14.

Tabela 14 - Célula de carga selecionada para os tanques de serviço do HFO e do MDO [17].

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	UNIDADES
Capacidade	5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 kgf
Sensibilidade Nominal	$2 \pm 0,02$ mv/V
Balanco de Zero	± 1 % FS
Repetibilidade	FS 0,02%
Erro de Fluência (20 minutos)	FS 0,03%
Efeito da Temperatura no Zero	0,03% FS/10 °C
Efeito da Temp. na Sensibilidade	0,02% FS/10 °C
Temperatura de Operação	-20 ~ 55 °C
Compensação de Temperatura	-10 ~ 40 °C
Impedância de Entrada (25°C)	$350 \pm 5 \Omega$
Impedância de Saída (25°C)	$350 \pm 3 \Omega$
Resistência de Isolação	$\geq 5000M\Omega$ (100VDC)
Tensão de Excitação	9 ~ 12VDC
Tensão de Excitação Máxima	FS 0,03%
Não-linearidade	FS 0,03%
Histerese	2 metros
Creep	FS/10min 0,03%
Sobrecarga admissível	150%
Sobrecarga de ruptura	200%
Grau de Proteção	IP66
Material	Liga de alumínio
Cabo Blindado de 4 vias	5 metros

DIMENSIONAL				
Carga (Kg)	A	B	C	D
5	70	10	60	M6
10~50	50,8	12,7	63,5	M8
100	50,8	19,1	76,2	M12
150~500	64	23	82	M12

A saída das células de carga apresentam níveis de sinal relativamente baixos. Dessa maneira, os condicionadores de sinal de células de carga normalmente têm amplificadores, que elevam o nível do sinal para aumentar a resolução da medição e melhorar as relações sinal-ruído.

A seguir, na Tab. 15, encontram-se as especificações técnicas do condicionador de sinal selecionado para as células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO.

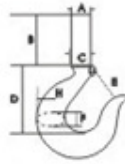
Tabela 15 - Especificações técnicas do condicionador de sinal selecionado para as células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO [18].



Sinal de entrada	+/- 30mVcc
Temperatura de Operação	0 ~ 60°C / 20 ~ 90% UR
Impedância de saída	+/- 1K ohm
Tempo de resposta padrão	50ms - (outras faixas sob consulta)
Alimentação	110/220Vac - 50/60Hz - (Opcional - 24Vcc)
Fonte Isolada p/ célula de carga	10Vcc / 200mA - (entre os bornes 1 e 2)
Sinalização	Led energizado
Sinal de saída	0 ~ 20mA / 4 ~ 20mA, 0 ~ 5Vcc, 0 ~ 10Vcc
Material da caixa	Plástico ABS
Fixação	Parafuso ou trilho DIN
Grau de proteção	IP40 (no frontal)
Ajuste de "ZERO" e "SPAN" por potenciômetro	Sim
Interferência por	RF Rádio / celular @ 0,5m < 0,1% FS
Peso (Kg)	0,200

As células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO serão penduradas através da conexão de um dos seus furos rosqueados à haste de um gancho, que necessitará ser usinada para o mesmo diâmetro (torneamento cilíndrico externo) e a mesma rosca das células de carga. Portanto, o gancho selecionado e suas dimensões podem ser visualizados na Tab. 16, a seguir:

Tabela 16 - Dimensões do gancho selecionado para as células de carga dos tanques de serviço do HFO e do MDO [19].



Código de Ref.	Carga de Trab. (ton)	Dimensões								Peso (kg)
		A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	
GHT-15	0,8	15	50	17	57	25	14	19	20	0,30

7 - Isolamento térmico e aquecimento dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO

A Fig. 22 fornece a orientação da temperatura mínima de armazenagem operacional, para a manutenção da viscosidade entre 10 - 15 cSt (na saída dos aquecedores) e 12 - 18 cSt (entrando no motor) [3].

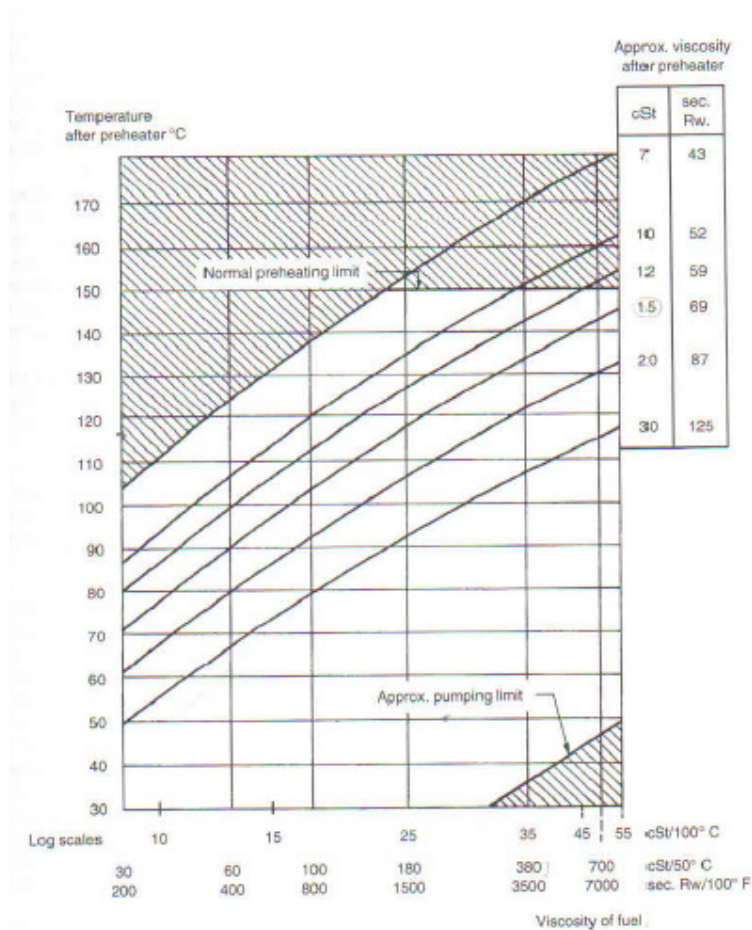


Figura 22 -Gráfico temperatura x viscosidade de diversos tipos de óleos combustíveis marítimos [3].

Portanto, de acordo com o gráfico da Fig. 22, o HFO deverá ser aquecido até a temperatura de 130°C, para manter a viscosidade entre os valores recomendados na saída dos aquecedores e na entrada do motor.

Apesar da apostila sobre óleos combustíveis explicar que em nenhuma circunstância a temperatura de armazenagem do óleo combustível deve exceder o seu mínimo ponto de fulgor típico, o HFO será aquecido até a temperatura de 130°C, sendo maior que a temperatura do seu ponto de fulgor (60°C). Porém, minimizaremos o risco

de incêndio adotando a seguinte medida de segurança: o nível do HFO presente tanto no tanque de serviço quanto no tanque de armazenagem será controlado a ponto de não abaixar tanto, expondo a resistência elétrica e permitindo que os gases inflamáveis, oriundos do HFO, entrem em contato com a fonte de calor (superfície da resistência elétrica), e conseqüentemente, inflamem. Ou seja, a resistência elétrica estará sempre submersa no HFO. Além disso, haverá a tubulação de respiro dos tanques de armazenagem e serviço do HFO, fazendo com que grande parte dos gases inflamáveis sejam dispersados.

7.1 - Isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO

Vários tipos de materiais isolantes são disponíveis. O uso de qualquer um deles resulta em considerável redução das perdas de calor nos tanques. Estes isolantes podem proporcionar uma economia de energia de aproximadamente 75%. Todo o isolamento deve ser reforçado com telas metálicas, incorporadas nas mantas ou seguras por pinos na superfície do tanque. Finalmente, deve ser aplicado ao isolamento um acabamento superficial à prova de tempo. Este pode ser de camadas betuminosas, folhas de alumínio ou aço galvanizado, com juntas seladas [3].

Os isolamentos térmicos dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO serão feitos com mantas isolantes. Fabricada a partir da eletrofusão de alumina com sílica (fibra cerâmica). Totalmente isenta de amianto, apresenta excepcional resistência mecânica e tem grande capacidade de isolamento térmico, podendo trabalhar sob temperatura de até 1.260 °C, mantendo estabilidade química e térmica. Apresenta boa resistência à tração, corrosão e não sofre ataque de produtos químicos. Além disso, apresenta baixa condutibilidade térmica e baixíssimo armazenamento de calor [20]. A seguir, nas Figs. 23 e 24 e na Tab. 17, respectivamente, pode-se observar a ilustração da manta de fibra cerâmica, o gráfico do coeficiente de condutividade térmica em função da temperatura média de mantas de fibra cerâmica de diferentes densidades e os dados técnicos da manta de fibra cerâmica selecionada para fazer o isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO.



Figura 23 - Manta de fibra cerâmica [20].

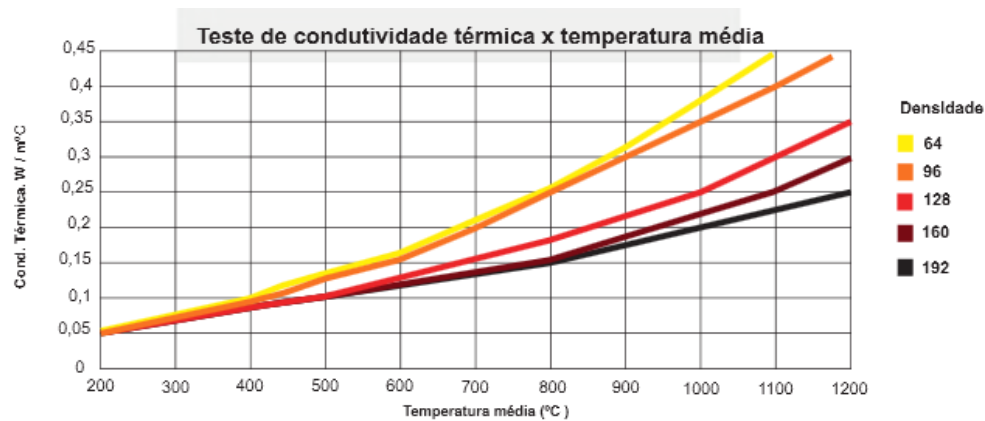


Figura 24 - Gráfico do coeficiente de condutividade térmica x temperatura média da manta de fibra cerâmica de diferentes densidades [20].

Tabela 17 - Dados técnicos da manta de fibra cerâmica selecionada para fazer o isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO [20].

Massa específica [Kg/m ³]	64
Composição	Alumina e Silica
Temperatura máxima de trabalho [°C]	1260
Ponto de fusão [°C]	1750
Cor	Branca
Dimensões [mm]	50,8 x 610 x 3810

Os acabamentos superficiais dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO serão feitos com folhas de alumínio, com o intuito de minimizar a perda de calor por radiação. Podemos visualizar a ilustração de folhas de alumínio na Fig. 25 e os dados técnicos da folha de alumínio selecionada para fazer o acabamento superficial do isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO na Tab. 18.

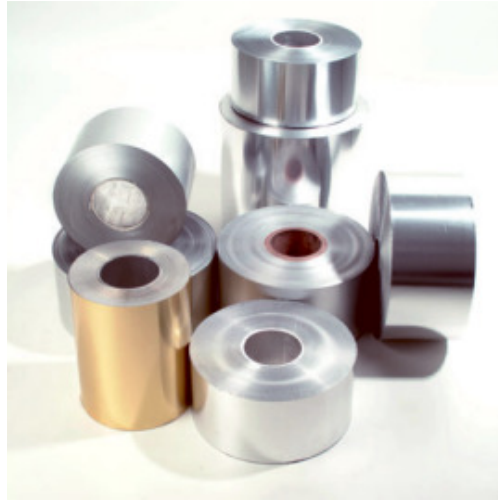


Figura 25 - Bobinas de folhas de alumínio [21].

Tabela 18 - Dados técnicos da folha de alumínio selecionada para fazer o acabamento superficial do isolamento térmico dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO [21].

Tipo	Brilhante/Brilhante
Média	Sim

7.2 - Cálculo da perda de calor do tanque de armazenagem do HFO

Hipóteses:

- Regime Permanente;
- Não será considerada convecção do HFO para o seu tanque de armazenagem;
- A condução do tanque de armazenagem foi desprezada, visto que sua espessura é muito pequena;
- Temperatura das paredes do tanque de armazenagem igual à temperatura do HFO;

- Contato perfeito entre o tanque de armazenagem e a manta de fibra cerâmica;
- Condução da manta de fibra cerâmica;
- Contato perfeito entre a manta de fibra cerâmica e a folha de alumínio;
- A condução da folha de alumínio foi desprezada, visto que sua espessura é muito pequena;
- Convecção para o ar;
- Os efeitos da radiação foram desprezados, já que estão sendo utilizadas folhas de alumínio que possuem superfícies brilhantes como acabamento superficial.

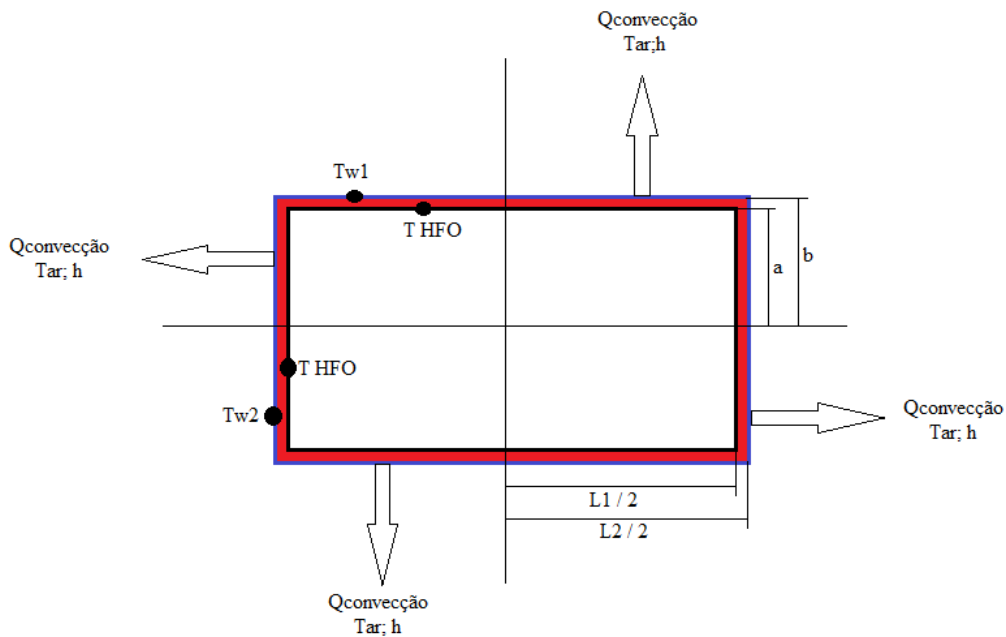


Figura 26 - Convecção livre sobre um cilindro horizontal longo.

Dados:

- $a = 0,30$ [m] – raio do tanque de armazenagem sem a manta de fibra cerâmica;
- $b = 0,35$ [m] – raio do tanque de armazenagem com a manta de fibra cerâmica;
- $L_1 = 0,85$ [m] – comprimento do tanque de armazenagem sem a manta de fibra cerâmica;
- $L_2 = 0,95$ [m] – comprimento do tanque de armazenagem com a manta de fibra cerâmica;
- $A_{\text{Superfície Lateral do Tambor}} = 2\pi b L_1 = 1,85$ [m²];
- $A_{\text{Tampa + Fundo}} = 2\pi a^2 = 0,55$ [m²];

- $T_{\text{HFO}} = 403,15 \text{ [K]}$ – Temperatura do HFO;
- $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$ – Temperatura ambiente;
- $T_{w1} \text{ [K]}$ – Temperatura externa da superfície lateral da manta de fibra cerâmica;
- $T_{w2} \text{ [K]}$ – Temperatura externa da tampa e do fundo da manta de fibra cerâmica;
- $K_{\text{MFC}} = 0,05 \text{ [w/mK]}$ – Condutividade térmica da manta de fibra cerâmica.

7.2.1 - Cálculo da perda de calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO

Para calcular a perda de calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO, deve-se fazer a primeira iteração supondo que a temperatura externa da superfície lateral da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, ou seja:

Primeira Tentativa ($T_{w1} = T_{\text{HFO}} = 403,15 \text{ [K]}$ e $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{\text{filme}} = \frac{403,15 + 293,15}{2} = 348,15 \text{ [K]}$:

- $\nu = 2,057 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s]}$ – Viscosidade cinemática do ar;
- $\text{Pr} = 0,697$ - Número de Prandtl;
- $K_{\text{Ar}} = 0,02989 \text{ [W/m } ^\circ\text{C]}$ – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 2,87 \times 10^{-3} \text{ [K}^{-1}\text{]}$; onde $T = (T_{w1} + T_{\text{Ar}})/2 = 348,15 \text{ [K]}$;
- $\text{Gr}_D = \frac{[(g \beta (T_{w1} - T_{\text{Ar}})(2b)^3)]}{\nu^2} = 2422732842,65$ – Número de Grashof local;
- $\text{Ra}_D = \text{Gr}_D \text{Pr} = 1689630843,60$ – Número de Rayleigh local.

Tabela 19 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre um cilindro horizontal [22].

Ra_D	c	n
$10^{-10} < \text{Ra}_D < 10^{-2}$	0,675	0,058
$10^{-2} < \text{Ra}_D < 10^2$	1,020	0,148
$10^2 < \text{Ra}_D < 10^4$	0,850	0,188
$10^4 < \text{Ra}_D < 10^7$	0,480	0,250
$10^7 < \text{Ra}_D < 10^{12}$	0,125	0,333

- $c = 0,125$;

- $n = 0,333$;
- $Nu_m = \frac{hm \ 2b}{KAr} = c (Gr_D Pr)^n = c (Ra_D)^n = 147,83$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Num) (KAr)}{2b} = 6,39 \text{ [W/(m}^2\text{/}^\circ\text{C)]}$ - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

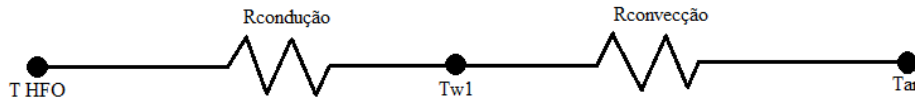


Figura 27 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO.

Onde:

- $R_{\text{condução}} = \frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2 \pi (K \text{ mfc}) L1} = 0,59 \text{ [K/W]}$ - resistência térmica de condução;
- $R_{\text{convecção}} = \frac{1}{2 \pi b h L1} = 0,08 \text{ [K/W]}$ - resistência térmica de convecção.

Portanto:

$$Q_1 = \frac{THFO - TAr}{R_{\text{condução}} + R_{\text{convecção}}} = \frac{THFO - TAr}{\frac{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi kL1} + \frac{1}{2\pi bhL1}} = 161,82 \text{ [W]} - \text{perda de}$$

calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO.

Uma vez calculada a perda de calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO, supondo que a temperatura externa da superfície lateral da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, pode-se calcular a temperatura externa da superfície lateral da manta de fibra cerâmica, através de uma segunda iteração, e conseqüentemente, o novo valor da perda de calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO para esta nova temperatura:

Segunda Tentativa (T_{w1} [K] = T_{HFO} [K] - $Q_1 \times R_{condução}$ = 306,86 e T_{Ar} [K] = 293,15):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{filme} = \frac{306,86 + 293,15}{2} = 300,00$ [K]:

- ν [m²/s] = $1,568 \times 10^{-5}$ [m²/s] – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,708$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02624$ [W/m °C] – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = \frac{1}{T} = 3,33 \times 10^{-3}$ [K⁻¹]; onde $T = \frac{T_{w1} + T_{Ar}}{2} = 300,00$ [K];
- $Gr_D = \frac{g \beta (T_{w1} - T_{Ar})(2b)^3}{\nu^2} = 603320494,39$ – Número de Grashof local;
- $Ra_D = Gr_D Pr = 427149661,58$ – Número de Rayleigh local;
- $c = 0,125$;
- $n = 0,333$;
- $Nu_m = \frac{hm \ 2b}{K_{Ar}} = c (Gr_D Pr)^n = c (Ra_D)^n = 93,52$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Nu_m) (K_{Ar})}{2b} = 3,55$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

Onde:

- $R_{condução} = \frac{\ln \left(\frac{b}{a} \right)}{2 \pi (K \ mfc) L1} = 0,59$ [K/W] - resistência térmica de condução;
- $R_{convecção} = \frac{1}{2 \pi b h L1} = 0,15$ [K/W] - resistência térmica de convecção.

Portanto:

- $Q_1 = \frac{T_{HFO} - T_{Ar}}{R_{condução} + R_{convecção}} = \frac{T_{HFO} - T_{Ar}}{\frac{\ln \left(\frac{b}{a} \right)}{2 \pi k L1} + \frac{1}{2 \pi b h L1}} = 147,14$ [W] - perda de

calor por convecção através da superfície lateral do tanque de armazenagem do HFO.

7.2.2 - Cálculo da perda de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO

Para calcular a perda de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO, deve-se fazer a primeira iteração supondo que a temperatura externa da tampa e do fundo da manta de fibra cerâmica são iguais a temperatura do HFO, ou seja:

Primeira Tentativa ($T_{w2} = T_{HFO} = 403,15$ [K] e $T_{Ar} = 293,15$ [K]):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{filme} = \frac{403,15 + 293,15}{2} = 348,15$ [K]:

- $\nu = 2,057 \times 10^{-5}$ [m²/s] – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,697$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02989$ [W/m °C] – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 2,87 \times 10^{-3}$ [K⁻¹]; onde $T = (T_{w2} + T_{Ar})/2 = 348,15$ [K];
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w2} - T_{Ar}) (\frac{L2}{2})^3}{\nu^2} = 788885340,72$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 550174158,81$ – Número de Rayleigh local.

Tabela 20 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa vertical [22].

Tipo de Escoamento	Domínio de $Gr_L Pr$	c	n
Laminar	10^4 a 10^9	0,59	0,250
Turbulento	10^9 a 10^{13}	0,10	0,333

- $c = 0,590$;
- $n = 0,250$;
- $Nu_m = \frac{hm L2}{2 KAr} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 90,36$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{2 (Num) (KAr)}{L2} = 5,68$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

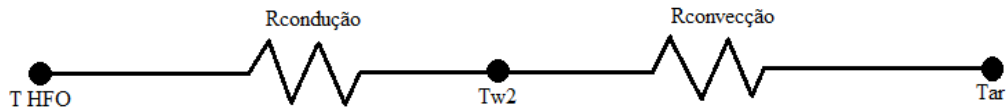


Figura 28 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.

Onde:

$$R_{\text{condução}} = \frac{L_2 - L_1}{2\pi a^2 K} = 3,72 \text{ [K/W]} - \text{resistência térmica de condução};$$

$$R_{\text{convecção}} = \frac{1}{h\pi a^2} = 0,64 \text{ [K/W]} - \text{resistência térmica de convecção};$$

Portanto:

- $Q_2 = 2 \left(\frac{T_{\text{HFO}} - T_{\text{Ar}}}{R_{\text{condução}} + R_{\text{convecção}}} \right) = 2 \left(\frac{T_{\text{HFO}} - T_{\text{Ar}}}{\frac{L_2 - L_1}{2\pi a^2 K} + \frac{1}{h\pi a^2}} \right) = 50,45 \text{ [W]} - \text{perda}$

de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.

Uma vez calculada a perda de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO, supondo que a temperatura externa da tampa e do fundo da manta de fibra cerâmica são iguais a temperatura do HFO, pode-se calcular as temperaturas externas da tampa e do fundo da manta de fibra cerâmica, através de uma segunda iteração, e conseqüentemente, o novo valor da perda de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO para esta nova temperatura:

Segunda Tentativa ($T_{w2} = T_{\text{HFO}} - ((Q_2/2) \times R_{\text{condução}}) = 309,40 \text{ [K]}$ e $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$):

Propriedades físicas do ar atmosférico na, temperatura de película, $T_{\text{filme}} = \frac{309,40 + 293,15}{2} = 301,28 \text{ [K]}$:

- $\nu = 1,581 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s]} - \text{Viscosidade cinemática do ar};$

- $Pr = 0,708$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02634$ [W/m °C] – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = \frac{1}{T} = 3,32 \times 10^{-3}$ [K⁻¹]; onde $T = \frac{T_{w2} + T_{Ar}}{2} = 301,28$ [K];
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w2} - T_{Ar}) \left(\frac{L2}{2}\right)^3}{\nu^2} = 228089045,17$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 161422945,77$ – Número de Rayleigh local;
- $c = 0,590$;
- $n = 0,250$;
- $Nu_m = \frac{hm L2}{2 KAr} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 66,50$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{2 (Num) (KAr)}{L2} = 3,68$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

Onde:

- $R_{condução} = \frac{L2-L1}{2\pi a^2 K} = 3,72$ [K/W] - resistência térmica de condução;
- $R_{convecção} = \frac{1}{h\pi a^2} = 0,99$ [K/W] - resistência térmica de convecção;

Portanto:

- $Q_2 = 2 \left(\frac{T_{HFO} - T_{Ar}}{R_{condução} + R_{convecção}} \right) = 2 \left(\frac{T_{HFO} - T_{Ar}}{\frac{L2-L1}{2\pi a^2 K} + \frac{1}{h\pi a^2}} \right) = 46,71$ [W] - perda

de calor por convecção através da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.

$Q_{Total \text{ de convecção}} = Q_1 + Q_2 = 147,14 + 46,71 = 193,85$ [W] - perda de calor por convecção através da superfície lateral, da tampa e do fundo do tanque de armazenagem do HFO.

7.3 - Cálculo da perda de calor do tanque de serviço do HFO

Hipóteses:

- Regime Permanente;

- Não consideramos convecção do HFO para as chapas internas das laterais, para a chapa interna do fundo e para a parede interna da tampa;
- A condução das chapas internas das laterais, da chapa interna do fundo e da tampa foram desprezadas, visto que suas espessuras são muito pequenas;
- Temperatura das chapas internas das laterais, da chapa interna do fundo e da parede interna da tampa iguais a temperatura do HFO;
- Temperatura externa da tampa igual à temperatura interna da tampa, ou seja, igual a temperatura do HFO;
- Contato perfeito das chapas internas das laterais e da chapa interna do fundo a manta de fibra cerâmica;
- Condução da manta de fibra cerâmica;
- Contato perfeito da manta de fibra cerâmica com as chapas externas das laterais e com a chapa externa do fundo;
- A condução das chapas externas das laterais e da chapa externa do fundo foram desprezadas, visto que suas espessuras são muito pequenas;
- Contato perfeito da manta de fibra cerâmica e da tampa com as folhas de alumínio;
- A condução das folhas de alumínio foram desprezadas, visto que suas espessuras são muito pequenas;
- Convecção para o ar;
- Os efeitos da radiação foram desprezados, já que estamos utilizando folhas de alumínio que possuem superfícies brilhantes como acabamento superficial.

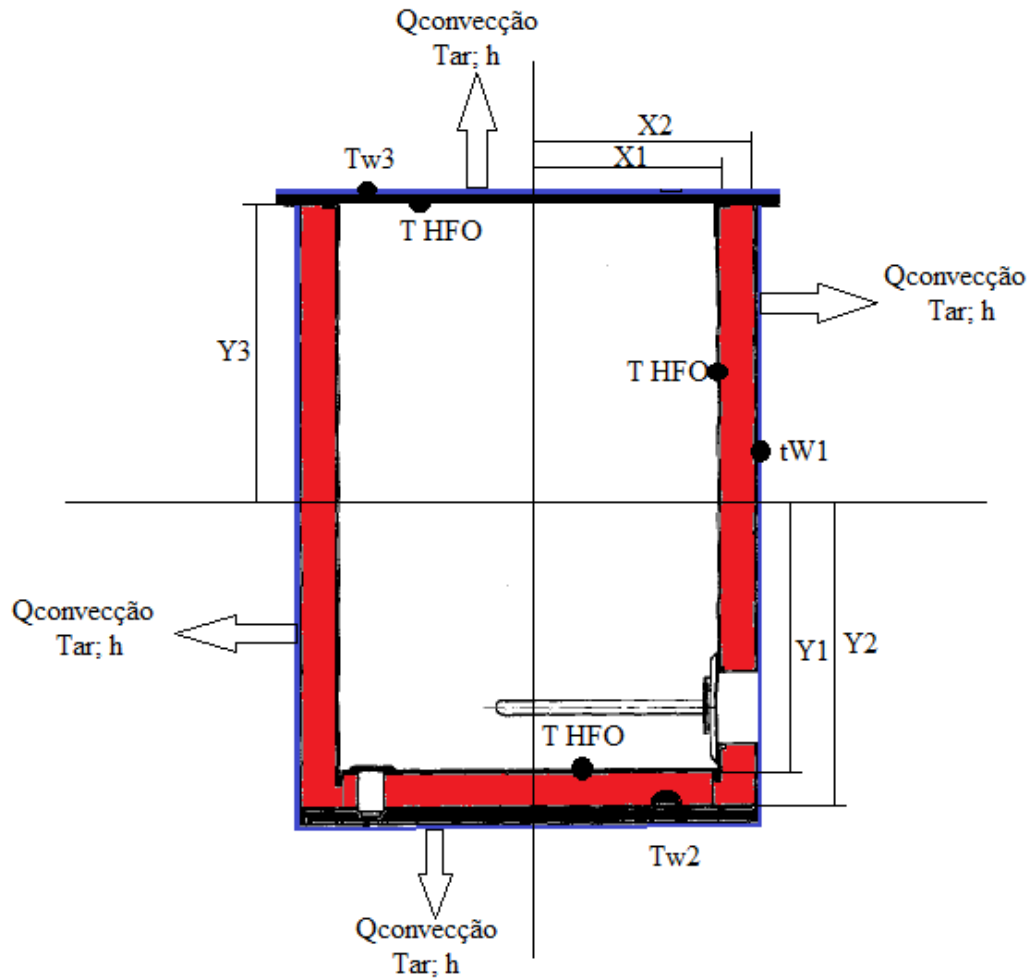


Figura 29 - Convecção livre sobre uma placa vertical.

Dados:

- $X_1 = 0,14$ [m] – distância do centro do tanque de serviço do HFO até a chapa interna da lateral;
- $X_2 = 0,17$ [m] – distância do centro do tanque de serviço do HFO até a chapa externa da lateral;
- $Y_1 = 0,22$ [m] – distância do centro do tanque de serviço do HFO até a chapa interna do fundo;
- $Y_2 = 0,25$ [m] – distância do centro do tanque de serviço do HFO até a chapa externa do fundo;
- $Y_3 = 0,22$ [m] – distância do centro do tanque de serviço do HFO até a tampa;
- $B = 2 x_1 = 0,28$ [m] – base da chapa interna da lateral;
- $H = 2 y_1 = 0,44$ [m] – altura da chapa interna da lateral;

- $A_{\text{Lateral do tanque de serviço do HFO}} = 4 b h = 0,49 \text{ [m}^2\text{]}$;
- $A_{\text{Fundo}} = b^2 = 0,08 \text{ [m}^2\text{]}$;
- $A_{\text{Tampa}} = b^2 = 0,08 \text{ [m}^2\text{]}$;
- $T_{\text{HFO}} = 403,15 \text{ [K]}$ – Temperatura do HFO;
- $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$ – Temperatura ambiente;
- $T_{w1} \text{ [K]}$ – Temperatura externa das paredes laterais da manta de fibra cerâmica;
- $T_{w2} \text{ [K]}$ – Temperatura externa do fundo da manta de fibra cerâmica;
- $T_{w3} = T_{\text{HFO}} = 403,15 \text{ [K]}$ – Temperatura externa da tampa da manta de fibra cerâmica;
- $K_{\text{MFC}} = 0,05 \text{ [w/mK]}$ – Condutividade térmica da manta de fibra cerâmica.

7.3.1 - Cálculo da perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO

Para calcular a perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO, deve-se fazer a primeira iteração supondo que a temperatura externa das paredes laterais da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, ou seja:

Primeira Tentativa ($T_{w1} = T_{\text{HFO}} = 403,15 \text{ [K]}$ e $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{\text{filme}} = \frac{403,15 + 293,15}{2} = 348,15 \text{ [K]}$:

- $\nu = 2,057 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{/s]}$ – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,697$ - Número de Prandtl;
- $K_{\text{Ar}} = 0,02989 \text{ [W/m } ^\circ\text{C]}$ – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 2,87 \times 10^{-3} \text{ [K}^{-1}\text{]}$; onde $T = (T_{w1} + T_{\text{Ar}})/2 = 348,15 \text{ [K]}$;
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w1} - T_{\text{Ar}})(X_2)^3}{\nu^2} = 33139586,75$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 23111779,78$ – Número de Rayleigh local;

Tabela 21 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa vertical [22].

Tipo de Escoamento	Domínio de $Gr_L Pr$	C	n
Laminar	10^4 a 10^9	0,59	0,250
Turbulento	10^9 a 10^{13}	0,10	0,333

- $c = 0,590$;
- $n = 0,250$;
- $Nu_m = \frac{hm X2}{KAr} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 40,91$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Num) (KAr)}{X2} = 7,39$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

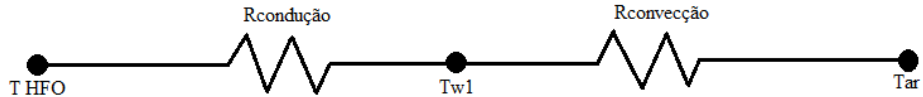


Figura 30 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO.

Onde:

- $R_{condução} = \frac{X2-X1}{b H K} = 4,12$ [K/W] - resistência térmica de condução;
- $R_{convecção} = \frac{1}{b H h} = 1,10$ [K/W] - resistência térmica de convecção;

Portanto:

- $Q_1 = 4 \left(\frac{T_{HFO} - Tar}{R_{condução} + R_{convecção}} \right) = 4 \left(\frac{T_{HFO} - Tar}{\frac{X2-X1}{b H K} + \frac{1}{b H h}} \right) = 84,27$ [W] - perda

de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO.

Uma vez calculada a perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO, supondo que a temperatura externa das paredes laterais da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, pode-se calcular a temperatura externa das paredes laterais da manta de fibra cerâmica, através de uma segunda iteração, e conseqüentemente, o novo valor da perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO para esta nova temperatura:

Segunda Tentativa ($T_{w1} = T_{HFO}$ [K] - $((Q_1/4) \times R_{condução}) = 316,28$ [K] e $T_{Ar} = 293,15$ [K]):

Propriedades físicas do ar atmosférico na, temperatura de película, $T_{\text{filme}} = (316,28 + 293,15)/2 = 304,72$ [K]:

- $\nu = 1,616 \times 10^{-5}$ [m²/s] – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,707$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02660$ [W/m °C] – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 3,28 \times 10^{-3}$ [K⁻¹]; onde $T = (T_{w1} + T_{Ar})/2 = 304,72$ [K];
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w1} - T_{Ar})(X_2)^3}{\nu^2} = 12904682,05$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 9123126,89$ – Número de Rayleigh local;
- $c = 0,590$;
- $n = 0,250$;
- $Nu_m = \frac{hm X_2}{K_{Ar}} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 32,43$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Nu_m) (K_{Ar})}{X_2} = 5,21$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

Onde:

- $R_{\text{condução}} = \frac{X_2 - X_1}{b H K} = 4,12$ [K/W] - resistência térmica de condução;
- $R_{\text{convecção}} = \frac{1}{b H h} = 1,56$ [K/W] - resistência térmica de convecção;

Portanto:

- $Q_1 = 4 \left(\frac{THFO - Tar}{R_{\text{condução}} + R_{\text{convecção}}} \right) = 4 \left(\frac{THFO - Tar}{\frac{X_2 - X_1}{b H K} + \frac{1}{b H h}} \right) = 77,46$ [W] - perda de calor por convecção através das paredes laterais do tanque de serviço do HFO.

7.3.2 - Cálculo da perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO

Para calcular a perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO, deve-se fazer a primeira iteração supondo que a temperatura externa do fundo da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, ou seja:

Primeira Tentativa ($T_{w2} = T_{HFO} = 403,15$ [K] e $T_{Ar} = 293,15$ [K]):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{filme} = \frac{403,15 + 293,15}{2} = 348,15$ [K]:

- $\nu = 2,057 \times 10^{-5}$ [m²/s] – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,697$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02989$ [W/m °C] – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 2,87 \times 10^{-3}$ [K⁻¹]; onde $T = (T_{w2} + T_{Ar})/2 = 348,15$ [K];
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w2} - T_{Ar})(Y2)^3}{\nu^2} = 114435454,51$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 79808087,02$ – Número de Rayleigh local;

Tabela 22 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa horizontal [22].

Orientação da Placa	Domínio de GrLPr	C	n	Regime do Escoamento
Superfície quente voltada para cima ou superfície fria voltada para baixo	10^5 a 2×10^7	0,54	0,250	Laminar
	2×10^7 a 3×10^{10}	0,14	0,333	Turbulento
Superfície quente voltada para baixo ou superfície fria voltada para cima	3×10^5 a 3×10^{10}	0,27	0,250	Laminar

- $c = 0,140$;
- $n = 0,333$;
- $Nu_m = \frac{hm Y2}{KAr} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 59,91$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Num) (KAr)}{Y2} = 7,16$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção;

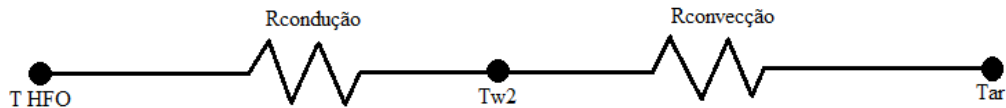


Figura 31 - Circuito de resistências térmicas equivalentes representando o fluxo de calor através do fundo do tanque de serviço do HFO.

Onde:

- $R_{\text{condução}} = \frac{Y_2 - Y_1}{b^2 K} = 7,65 \text{ [K/W]}$ - resistência térmica de condução;
- $R_{\text{convecção}} = \frac{1}{b^2 h} = 1,78 \text{ [K/W]}$ - resistência térmica de convecção;

Portanto:

- $Q_2 = \frac{T_{\text{HFO}} - T_{\text{Ar}}}{R_{\text{condução}} + R_{\text{convecção}}} = \frac{T_{\text{HFO}} - T_{\text{Ar}}}{\frac{Y_2 - Y_1}{b^2 K} + \frac{1}{b^2 h}} = 11,66 \text{ [W]}$ - perda de calor

por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO.

Uma vez calculada a perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO, supondo que a temperatura externa do fundo da manta de fibra cerâmica é igual a temperatura do HFO, pode-se calcular a temperatura externa do fundo da manta de fibra cerâmica, através de uma segunda iteração, e conseqüentemente, o novo valor da perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO para esta nova temperatura:

Segunda Tentativa ($T_{w2} = T_{\text{HFO}} - Q_2 \times R_{\text{condução}} = 313,91 \text{ [K]}$ e $T_{\text{Ar}} = 293,15 \text{ [K]}$):

Propriedades físicas do ar atmosférico na, temperatura de película, $T_{\text{filme}} = \frac{313,91 + 293,15}{2} = 303,53 \text{ [K]}$:

- $\nu = 1,604 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s]}$ - Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,707$ - Número de Prandtl;
- $K_{\text{Ar}} = 0,02651 \text{ [W/m } ^\circ\text{C]}$ - Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 3,29 \times 10^{-3} \text{ [K}^{-1}]$; onde $T = (T_{w2} + T_{\text{Ar}})/2 = 303,53 \text{ [K]}$;

- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w2} - T_{Ar})(Y2)^3}{\nu^2} = 40760482,08$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 28826751,29$ – Número de Rayleigh local;
- $c = 0,140$;
- $n = 0,333$;
- $Nu_m = \frac{hm Y2}{KAr} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 42,68$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Num) (KAr)}{Y2} = 4,53$ [W/(m²/°C)] - coeficiente médio de transferência de calor por convecção;

Onde:

- $R_{condução} = \frac{Y2-Y1}{b^2 K} = 7,65$ [K/W] - resistência térmica de condução;
- $R_{convecção} = \frac{1}{b^2 h} = 2,82$ [K/W] - resistência térmica de convecção;

Portanto:

- $Q_2 = \frac{THFO-Tar}{R_{condução}+R_{convecção}} = \frac{THFO-Tar}{\frac{Y2-Y1}{b^2 K} + \frac{1}{b^2 h}} = 10,50$ [W] - perda de calor por convecção através do fundo do tanque de serviço do HFO.

7.3.3 - Cálculo da perda de calor por convecção através da tampa do tanque de serviço do HFO

Para calcular a perda de calor por convecção através da tampa do tanque de serviço do HFO, deve-se fazer uma única iteração, pois a espessura da tampa é muito pequena (o que resultará numa resistência térmica de condução desprezível), e portanto, a temperatura externa da tampa da manta de fibra cerâmica será praticamente igual a temperatura do HFO, ou seja:

Única Tentativa ($T_{w3} = T_{HFO} = 403,15$ [K] e $T_{Ar} = 293,15$ [K]):

Propriedades físicas do ar atmosférico na temperatura de película, $T_{filme} = \frac{403,15 + 293,15}{2} = 348,15$ [K]:

- $\nu = 2,057 \times 10^{-5} \text{ [m}^2/\text{s]}$ – Viscosidade cinemática do ar;
- $Pr = 0,697$ - Número de Prandtl;
- $K_{Ar} = 0,02989 \text{ [W/m }^\circ\text{C]}$ – Condutividade térmica do ar;
- $\beta = 1/T = 2,87 \times 10^{-3} \text{ [K}^{-1}\text{]}$; onde $T = (T_{w3} + T_{Ar})/2 = 348,15 \text{ [K]}$;
- $Gr_L = \frac{g \beta (T_{w3} - T_{Ar})(Y_3)^3}{\nu^2} = 114435454,51$ – Número de Grashof local;
- $Ra_L = Gr_L Pr = 79808087,02$ – Número de Rayleigh local;

Tabela 23 - Constante c e expoente n na convecção livre sobre uma placa horizontal [22].

Orientação da Placa	Domínio de GrLPr	C	n	Regime do Escoamento
Superfície quente voltada para cima ou superfície fria voltada para baixo	10^5 a 2×10^7	0,54	0,250	Laminar
	2×10^7 a 3×10^{10}	0,14	0,333	Turbulento
Superfície quente voltada para baixo ou superfície fria voltada para cima	3×10^5 a 3×10^{10}	0,27	0,250	Laminar

- $c = 0,140$;
- $n = 0,333$;
- $Nu_m = \frac{hm Y_3}{K_{Ar}} = c (Gr_L Pr)^n = c (Ra_L)^n = 59,91$ – Número médio de Nusselt;
- $h_m = \frac{(Nu_m) (K_{Ar})}{Y_3} = 7,16 \text{ [W/(m}^2\text{/}^\circ\text{C)]}$ - coeficiente médio de transferência de calor por convecção.

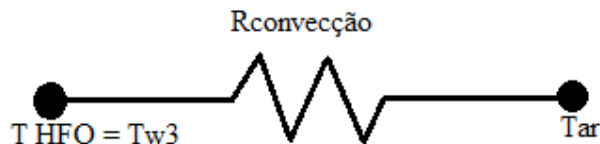


Figura 32 - Circuito de resistência térmica equivalente representando o fluxo de calor através da tampa do tanque de serviço do HFO.

Onde:

- $R_{\text{convecção}} = \frac{1}{b^2 h} = 1,78 \text{ [K/W]}$ - resistência térmica de convecção.

Portanto:

- $Q_3 = \frac{\text{THFO}-\text{Tar}}{R_{\text{convecção}}} = \frac{\text{THFO}-\text{Tar}}{\frac{1}{b^2 h}} = 61,77 \text{ [W]}$ - perda de calor por convecção

através da tampa do tanque de serviço do HFO.

$Q_{\text{Total de convecção}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 77,46 + 10,50 + 61,77 = 149,73 \text{ [W]}$ - perda de calor por convecção através das paredes laterais, do fundo e da tampa do tanque de serviço do HFO.

7.4 - Aquecimento dos tanques de armazenagem e de serviço do HFO

Os tanques de armazenagem e de serviço do HFO serão aquecidos por meio de resistências elétricas controladas por termostatos. A resistência elétrica e seu termostato sempre devem ser posicionados abaixo do nível de óleo combustível, para que eles nunca fiquem descobertos durante a operação normal, caso contrário existirá o perigo de explosão e incêndio. Os elementos de aquecimento devem ser facilmente removíveis para reparos, se necessário [3].

7.4.1 - Aquecimento do tanque de armazenagem do HFO

7.4.1.1 - Cálculo da potência da resistência elétrica

Para selecionar a resistência elétrica que será utilizada no tanque de armazenagem do HFO, foi feita uma primeira estimativa da potência consumida durante o processo de aquecimento do HFO, desde a temperatura inferior de controle ($130^\circ\text{C} = 403,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$), através da estipulação do tempo necessário ($t = 15\text{min} = 900\text{s}$) para tal atividade. Não podemos esquecer de incluir a parcela da perda de calor por convecção do tanque de armazenagem do HFO, para isso, o problema foi considerado após o regime transiente.

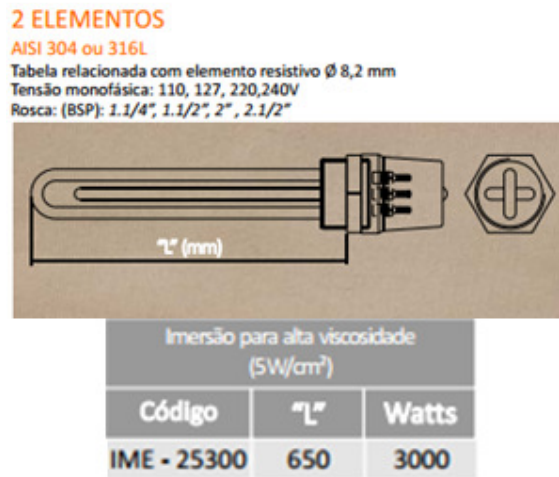
- $\Delta t = 900 \text{ [s]}$ – tempo estipulado para o aquecimento do HFO;
- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 200 \text{ [l]}$ – volume do tanque de armazenagem do HFO;
- $m = \rho V = 197,56 \text{ [Kg]}$ – massa de HFO;

- $T_{\text{inferior de controle}} = 403,15 \text{ [K]}$;
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15 \text{ [K]}$;
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inferior de controle}} = 5 \text{ [K]}$;
- $C_p = 2100 \text{ [J/KgK]}$ - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];
- $Q = m C_p \Delta T = 2074380 \text{ [J]}$ - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $Pot = \frac{Q}{\Delta t} = 2304,87 \text{ [W]}$ – potência real de aquecimento do HFO;
- $Q_{\text{Total de convecção}} = 193,15 \text{ [W]}$ – perda total de calor por convecção do tanque de armazenagem do HFO;
- $Pot' = Pot + Q_{\text{Total de convecção}} = 2498,02 \text{ [W]}$ – potência de aquecimento do HFO.

7.4.1.2 - Seleção da resistência elétrica

Uma vez calculada a potência da resistência elétrica, foi selecionada a indicada abaixo, na Tab. 24:

Tabela 24 - Resistência elétrica selecionada para o tanque de armazenagem do HFO [23].



7.4.1.3 - Cálculo do tempo de aquecimento do HFO

Uma vez selecionada a resistência elétrica, é possível calcular o tempo de aquecimento do HFO desde a temperatura inferior de controle ($130^{\circ}\text{C} = 403,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^{\circ}\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 200$ [l] – volume do tanque de armazenagem do HFO;
- $m = \rho V = 197,56$ [Kg] – massa de HFO;
- $T_{\text{inferior de controle}} = 403,15$ [K];
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15$ [K];
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inferior de controle}} = 5$ [K];
- $C_p = 2100$ [J/KgK] - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];
- $Q = m C_p \Delta T = 2074380$ [J] - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $Pot' = 3000$ [W] - potência da resistência elétrica;
- $Q_{\text{Total de convecção}} = 193,15$ [W] – perda total de calor por convecção do tanque de armazenagem do HFO;
- $Pot = Pot' - Q_{\text{Total de convecção}} = 2806,85$ [W] – potência real de aquecimento do HFO;
- $\Delta t = \frac{Q}{Pot} = 739,04$ [s] – tempo calculado para o aquecimento do HFO desde a temperatura inferior de controle ($130^{\circ}\text{C} = 403,15$ K) até a temperatura superior de controle ($135^{\circ}\text{C} = 408,15$ K).

Também podemos calcular o tempo de aquecimento do HFO desde a temperatura inicial/ambiente ($20^{\circ}\text{C} = 293,15$ K) até a temperatura superior de controle ($135^{\circ}\text{C} = 408,15$ K).

- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 200$ [l] – volume do tanque de armazenagem do HFO;
- $m = \rho V = 197,56$ [Kg] – massa de HFO;
- $T_{\text{inicial/ambiente}} = 293,15$ [K];
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15$ [K];
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inicial/ambiente}} = 115$ [K];
- $C_p = 2100$ [J/KgK] - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];

- $Q = m C_p \Delta T = 47710740 \text{ [J]}$ - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $Pot' = 3000 \text{ [W]}$ - potência da resistência elétrica;
- $Q_{\text{Total de convecção}} = 193,15 \text{ [W]}$ – perda total de calor por convecção do tanque de armazenagem do HFO;
- $Pot = Pot' - Q_{\text{Total de convecção}} = 2806,85 \text{ [W]}$ – potência real de aquecimento do HFO;
- $\Delta t = \frac{Q}{Pot} = 16997,97 \text{ [s]}$ – tempo calculado para o aquecimento do HFO desde a temperatura inicial/ambiente ($20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

7.4.2 - Aquecimento do tanque de serviço do HFO

7.4.2.1 - Cálculo da potência da resistência elétrica

Para selecionar a resistência elétrica que será utilizada no tanque de serviço do HFO, foi feita uma primeira estimativa da potência consumida durante o processo de aquecimento do HFO, desde a temperatura inferior de controle ($130^\circ\text{C} = 403,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$), através da estipulação do tempo necessário ($t = 2\text{min} = 120\text{s}$) para tal atividade. Não podemos esquecer de incluir a parcela da perda de calor por convecção do tanque de serviço do HFO, para isso, o problema foi considerado após o regime transiente.

- $\Delta t = 120 \text{ [s]}$ – tempo estipulado para o aquecimento do HFO;
- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 7,6 \text{ [l]}$ – volume do tanque de serviço do HFO;
- $m = \rho V = 7,51 \text{ [Kg]}$ – massa de HFO;
- $T_{\text{inferior de controle}} = 403,15 \text{ [K]}$;
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15 \text{ [K]}$;
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inferior de controle}} = 5 \text{ [K]}$;
- $C_p = 2100 \text{ [J/KgK]}$ - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];
- $Q = m C_p \Delta T = 78855 \text{ [J]}$ - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $Pot = \frac{Q}{\Delta t} = 657,13 \text{ [W]}$ – potência real de aquecimento do HFO;

- $Q_{\text{Total de convecção}} = 149,73 \text{ [W]}$ – perda total de calor por convecção do tanque de serviço do HFO;
- $Pot' = Pot + Q_{\text{Total de convecção}} = 806,86 \text{ [W]}$ – potência de aquecimento do HFO.

7.4.2.2 - Seleção da resistência elétrica

Uma vez calculada a potência da resistência elétrica, foi selecionada a indicada abaixo, na Tab. 25:

Tabela 25 - Resistência elétrica selecionada para o tanque de serviço do HFO [23].



7.4.2.3 - Cálculo do tempo de aquecimento do HFO

Uma vez selecionada a resistência elétrica, pode-se calcular o tempo de aquecimento do HFO desde a temperatura inferior de controle ($130^{\circ}\text{C} = 403,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^{\circ}\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 7,6 \text{ [l]}$ – volume do tanque de serviço do HFO;
- $m = \rho V = 7,51 \text{ [Kg]}$ – massa de HFO;
- $T_{\text{inferior de controle}} = 403,15 \text{ [K]}$;
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15 \text{ [K]}$;
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inferior de controle}} = 5 \text{ [K]}$;
- $C_p = 2100 \text{ [J/KgK]}$ - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];
- $Q = m C_p \Delta T = 78855 \text{ [J]}$ - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $Pot' = 800 \text{ [W]}$ - potência da resistência elétrica;

- $Q_{\text{Total de convecção}} = 149,73 \text{ [W]}$ – perda total de calor por convecção do tanque de serviço do HFO;
- $\text{Pot} = \text{Pot}' - Q_{\text{Total de convecção}} = 650,27 \text{ [W]}$ – potência real de aquecimento do HFO;
- $\Delta t = \frac{Q}{\text{Pot}} = 121,26 \text{ [s]}$ – tempo calculado para o aquecimento do HFO desde a temperatura inferior de controle ($130^\circ\text{C} = 403,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

Também pode-se calcular o tempo de aquecimento do HFO desde a temperatura inicial/ambiente ($20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

- $\rho = 0,9878$ – densidade do HFO;
- $V = 7,6 \text{ [l]}$ – volume do tanque de serviço do HFO;
- $m = \rho V = 7,51 \text{ [Kg]}$ – massa de HFO;
- $T_{\text{inicial/ambiente}} = 293,15 \text{ [K]}$;
- $T_{\text{superior de controle}} = 408,15 \text{ [K]}$;
- $\Delta T = T_{\text{superior de controle}} - T_{\text{inicial/ambiente}} = 115 \text{ [K]}$;
- $C_p = 2100 \text{ [J/KgK]}$ - valor médio de calor específico que pode ser considerado para os óleos combustíveis nos cálculos de aquecimento de sistemas de armazenagem e de manuseio [3];
- $Q = m C_p \Delta T = 1813665 \text{ [J]}$ - calor transferido da resistência elétrica para o HFO;
- $\text{Pot}' = 800 \text{ [W]}$ - potência da resistência elétrica;
- $Q_{\text{Total de convecção}} = 149,73 \text{ [W]}$ – perda total de calor por convecção do tanque de serviço do HFO;
- $\text{Pot} = \text{Pot}' - Q_{\text{Total de convecção}} = 650,27 \text{ [W]}$ – potência real de aquecimento do HFO;
- $\Delta t = \frac{Q}{\text{Pot}} = 2789,10 \text{ [s]}$ – tempo calculado para o aquecimento do HFO desde a temperatura inicial/ambiente ($20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$) até a temperatura superior de controle ($135^\circ\text{C} = 408,15 \text{ K}$).

8 - Tubulações industriais

8.1 - Tubos e tubulações

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Todos os tubos são de seção circular, apresentando-se como cilindros ocos. A grande maioria dos tubos funciona como condutos forçados, isto é, sem superfície livre, com o fluido tomando toda a área da seção transversal. Na prática, chamam-se geralmente de tubos apenas os condutos rígidos. Os condutos flexíveis, embora às vezes chamados de “tubos flexíveis”, são mais comumente denominados de mangueiras ou mangotes [24].

Chama-se tubulação um conjunto de tubos e de seus diversos acessórios [24].

8.2 - Classificação das tubulações industriais quanto ao emprego

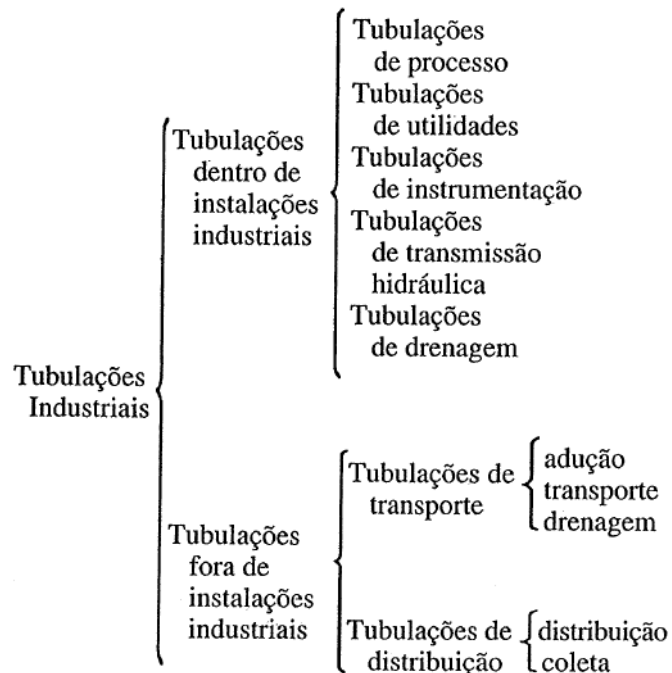


Figura 33 - Classificação das tubulações industriais quanto ao emprego [24].

Chamam-se tubulações de processo às tubulações do fluido ou dos fluidos que constituem a finalidade básica da indústria cuja atividade principal é o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos. Por exemplo, tubulações de óleos em refinarias, terminais e instalações de armazenagem ou distribuição de produtos de

petróleo, tubulações de vapor em centrais termelétricas, tubulações de produtos químicos em indústria química etc. [24].

As tubulações de utilidades são as tubulações de fluidos auxiliares nas indústrias cuja atividade principal é o processamento, a armazenagem ou a distribuição de fluidos, e também as tubulações em geral em todas as indústrias que se dedicam a outras atividades. Por exemplo, tubulações de sistemas de refrigeração, aquecimento, vapor para acionamento de máquinas, manutenção, limpeza, combate à incêndio etc. [24].

Tubulações de instrumentação são as tubulações para a transmissão de sinais de ar comprimido para as válvulas de controle e instrumentos automáticos, e também as pequenas tubulações, de fluidos diversos, para instrumentos automáticos. As tubulações de instrumentação não são destinadas ao transporte de fluidos [24].

As tubulações de transmissão hidráulica, que também não se destinam ao transporte de fluidos, são as tubulações de líquidos sob pressão para os comandos e servomecanismos hidráulicos [24].

As tubulações de drenagem são as redes encarregadas de coletar e conduzir ao destino conveniente os diversos efluentes fluidos de uma instalação industrial. Não incluímos como tubulações de utilidades, por causa da característica peculiar a quase todas as tubulações de drenagem de trabalharem sem pressão e com fluidos muito variados e frequentemente mal definidos [24].

As tubulações de transporte são os troncos empregados para o transporte de líquidos e de gases a longas distâncias fora de instalações industriais. Por exemplo, as adutoras de água, as tubulações de transporte de óleos (oleodutos) e gases (gasodutos) e os coletores de drenagem [24].

As tubulações de distribuição são as redes ramificadas fora de instalações industriais. Podem ser de distribuição propriamente dita (de água, vapor etc.) quando o fluxo se dá em direção às extremidades dos ramais, e de coleta (de drenagem, esgotos etc.) quando o fluxo se dá em direção às linhas tronco [24].

8.3 - Materiais das tubulações industriais

8.3.1 - Tubos de aço-carbono

Entre todos os materiais industriais existentes, o aço-carbono é o que apresenta menor relação custo/resistência mecânica, além de ser um material fácil de soldar e de conformar, e também fácil de ser encontrado no comércio. Por todos esses motivos, o aço-carbono é o chamado “material de uso geral” em tubulações industriais, isto é, só se deixa de empregar o aço-carbono quando houver alguma circunstância especial que o proíba, e desta forma todos os outros materiais são utilizados apenas em alguns casos especiais de exceção. De um modo geral, os tubos de aço-carbono representam cerca de 90% de toda tubulação nas indústrias [24].

O aço-carbono é um material de baixa resistência à corrosão, sendo muito raros os serviços para os quais não haja nenhuma corrosão. Por essa razão, é quase sempre necessário o acréscimo de alguma sobre-espessura (essa margem para corrosão é um material que será consumido pela corrosão ao longo da vida útil da tubulação, sem comprometer a resistência mecânica da mesma) em todas as partes de aço-carbono em contato com fluidos de processo ou com a atmosfera, exceto se houver uma pintura ou outro revestimento protetor adequado [24].

8.3.2 - Tubos de aço-liga e aço inoxidável

Denominam-se aços-liga todos os aços que possuem qualquer quantidade de outros elementos, além dos que entram na composição dos aços-carbono. Dependendo da quantidade total de elementos de liga, distinguem-se os aços de baixa liga, com até 5% de elementos de liga, aços de liga intermediária, contendo entre 5% e 10%, e os aços de alta liga, com mais de 10% [24].

Os aços inoxidáveis são os que contêm pelo menos 12% de cromo, o que lhes confere a propriedade de não se enferrujarem mesmo em exposição prolongada a uma atmosfera normal [24].

Todos os tubos de aços-liga são bem mais caros do que os de aço-carbono, sendo um modo geral o custo tanto mais alto quanto maior for a quantidade de elementos de liga. Além disso, a montagem e soldagem desses tubos são também em geral mais difíceis e mais cara [24].

Os principais casos em que se justifica o emprego dos aços especiais (aços-liga e inoxidáveis) são os seguintes [24]:

- Altas temperaturas - Temperaturas acima dos limites de uso dos aços-carbono, ou mesmo dentro desses limites, quando for exigida maior resistência mecânica, maior resistência à fluência, ou maior resistência à corrosão;
- Baixas temperaturas – Temperaturas inferiores a -45°C , devido à possibilidade de fraturas frágeis com o aço-carbono;
- Alta corrosão – Serviços com fluidos corrosivos, mesmo quando dentro da faixa de temperaturas de emprego dos aços-carbono. De um modo geral, os aços-liga e inoxidáveis têm melhores qualidades de resistência à corrosão do que os aços-carbono.
- Exigência de não contaminação – Serviços para os quais não se possa admitir a contaminação do fluido circulante (produtos alimentares e farmacêuticos, por exemplo). A corrosão, ainda que só seja capaz de destruir o material do tubo depois de muito tempo, pode causar a contaminação do fluido circulante quando os resíduos da corrosão são carregados pela corrente fluida. Por essa razão, nos casos em que não possa haver contaminação, empregam-se muitas vezes os aços especiais, embora do ponto de vista propriamente da corrosão não fossem necessários.
- Segurança – Serviços com fluidos perigosos (em temperatura muito elevada, inflamáveis, tóxicos, explosivos etc.), quando for exigido o máximo de segurança contra possíveis vazamentos e acidentes. Também nesses casos, estritamente devido à corrosão, não seriam normalmente necessários os aços especiais.

8.3.3 - Fatores de influência na seleção de materiais

Os principais fatores que influenciam são [24]:

- Fluido conduzido – Natureza e concentração do fluido impurezas ou contaminantes; pH; velocidade; toxidez; resistência à corrosão; possibilidade de contaminação;
- Condições de serviço – Temperatura e pressão de trabalho (consideradas as condições extremas, mesmo que sejam condições transitórias ou eventuais);

- Nível de tensões do material – O material deve ter resistência mecânica compatível com a ordem de grandeza dos esforços presentes (pressão do fluido, pesos, ação do vento, reações de dilatações térmicas, sobrecargas, esforços de montagem etc);
- Natureza dos esforços mecânicos – Tração; compressão; flexão; esforços estáticos ou dinâmicos; choques; vibrações; esforços cíclicos etc;
- Disponibilidade dos materiais – Com exceção do aço-carbono os materiais têm limitações de disponibilidade;
- Sistema de ligações – Adequado ao tipo de material e ao tipo de montagem;
- Custo dos materiais – Fator frequentemente decisivo. Deve-se considerar o custo direto e também os custos indiretos representados pelo tempo de vida, e os consequentes custos de reposição e de paralisação do sistema;
- Segurança – Do maior ou menor grau de segurança exigido dependerão a resistência mecânica e o tempo de vida;
- Facilidade de fabricação e montagem – Entre as limitações incluem-se a soldabilidade, usinabilidade, facilidade de conformação etc;
- Experiência prévia – É arriscado decidir por um material que não se conheça nenhuma experiência anterior em serviço semelhante;
- Tempo de vida previsto – O tempo de vida depende da natureza e importância da tubulação e do tempo de amortização do investimento.

8.3.4 - Seleção do material dos tubos rígidos

Abaixo estão os principais requisitos que os tubos rígidos deverão atender ao conduzir o HFO e o MDO:

- Resistir à altas temperaturas;
- Resistir à corrosão;
- Não contaminar o HFO e o MDO;
- Experiência prévia;
- Disponibilidade e custo dos materiais e dos sistemas de ligações;
- Segurança.

Uma vez estabelecidos os requisitos, o material que melhor os atenderam foi o aço inoxidável.

8.4 - Cálculo de consumo do MDO

O consumo de MDO é calculado da seguinte maneira:

- Pot = 12,8 [KW] - Potência do motor;
- $C_e = 248$ [g/kW h] - Consumo específico do MDO;
- $\rho = 0,82$ - densidade do MDO.
- $C_h = \frac{C_e \times Pot}{\rho} = 3,87122$ [l/h] = 0,00387 [m³/h] - Consumo horário do MDO;
- $C_s = \frac{C_h}{3600} = \frac{C_e \times Pot}{3600 \rho} = 0,001075$ [l/s] = 0,000001075 [m³/s] - Consumo por segundo do MDO.

8.5 - Cálculo de consumo do HFO

O cálculo do consumo de HFO é feito de maneira análoga ao do MDO, porém, é necessário corrigi-lo pelo através da seguinte equação:

- $C_h' PCI_{HFO} = C_h PCI_{MDO} \longrightarrow C_h' = \frac{C_h \times PCI_{MDO}}{PCI_{HFO}}$; onde:
 - C_h' - Consumo horário do HFO;
 - $C_h = 3,87122$ [l/h] = 0,00387 [m³/h] - Consumo horário do MDO;
 - $PCI_{MDO} \cong PCI_{DO} = 10100$ [kcal/kg] - poder calorífico inferior do MDO;
 - $PCI_{HFO} \cong PCI_{ÓLEO\ COMBUSTÍVEL\ 3A} = 9500$ [kcal/kg] - poder calorífico inferior do HFO;

Portanto, temos:

- $C_h' = 4,11442$ [l/h] = 0,00411 [m³/h] - Consumo horário do HFO;
- $C_s' = \frac{C_h'}{3600} = 0,001143$ [l/s] = 0,000001143 [m³/s] - Consumo por segundo do HFO.

8.6 - Cálculo do diâmetro externo dos tubos rígidos

De acordo com os cálculos acima, foi observado que o consumo do HFO é ligeiramente maior que o do MDO, o que acabará implicando em uma tubulação com um diâmetro ligeiramente maior. Portanto, este valor foi utilizado como base para cálculo do diâmetro externo dos tubos rígidos das tubulações do HFO e do MDO, uma vez que estes serão padronizados e, portanto, possuirão os mesmos diâmetros externos.

- $V = 2$ [m/s] - Velocidade econômica recomendada para tubulações de hidrocarbonetos líquidos (Tab. 26);

Tabela 26 - Velocidades econômicas recomendadas para hidrocarbonetos [25].

Hidrocarbonetos líquidos em instalações industriais - linhas de sucção - linhas de recalque	Aço (qualquer tipo) Aço (qualquer tipo) Aço (qualquer tipo)	1 a 2 1,5 a 2,5 25 a 30
Hidrocarbonetos gasosos em instalações industriais		

- $C_s' = 0,000001143$ [m³/s] - Consumo por segundo do HFO;

- $V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2}$;

Logo:

- $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi V}} = 0,000853$ [m] = 0,000000853 [mm] - Diâmetro externo calculado para os tubos rígidos das tubulações do HFO e do MDO.

8.7 - Seleção do diâmetro externo dos tubos rígidos das tubulações

Apesar do cálculo indicar que podemos selecionar tubos rígidos para as tubulações do HFO e do MDO com diâmetros externos bem pequenos, como medida de prevenção a supostos tamponamentos, foi selecionado um diâmetro externo maior do que o calculado, como pode ser visto na Tab. 27.

Tabela 27 - Diâmetro externo dos tubos rígidos selecionados para as tubulações do HFO e do MDO [26].

TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL

Tabela de Aplicações

Diametro Externo	Espessura	Denominação	Peso Teórico	Aplicações Típicas
9,53	0,89	3/8" x 20 BWG	0,196	Instrumentação

8.8 - Seleção dos tubos flexíveis das tubulações


Os critérios utilizados para seleção dos tubos flexíveis das tubulações do HFO e do MDO foram os seguintes:

- Resistência à altas temperaturas;
- Resistência ao ataque químico do HFO e do MDO;
- Experiência prévia com produtos do fabricante;
- Diâmetro interno compatível com o dos tubos rígidos;

Desta forma, a mangueira selecionada está indicada na Tab. 28.

Tabela 28 - Tubo flexível selecionado para as tubulações do HFO e do MDO [27].

FC650 AQP
High temperature Fuel & Oil



# Part Number	Hose I.D.		Hose O.D.		Maximum Operating Pressure		Minimum Burst Pressure		Minimum Bend Radius		Vacuum Service		Weight of Hose	
	mm	in	mm	in	bar	psi	bar	psi	mm	in	kPa	in/Hg	Kg/m	lbs/ft
FC650-06	7,9	0.31	16,0	0.63	70,0	1000	280,0	4000	31,8	1.25	94,8	28	0,22	0.15

8.9 - Tubulações de respiro

As tubulações de respiro devem ser colocadas nos pontos mais altos dos tanques de armazenagem e de serviço. Sempre que for possível, o respiro deve ser visível pelo ponto de enchimento e deve terminar em área aberta, numa posição em que qualquer vapor do combustível seja disperso e, no caso de um transbordamento, não haja danos à propriedade, riscos de incêndio, contaminação do solo ou cursos de água [3].

O diâmetro das tubulações de respiro devem ser iguais ou maiores que o diâmetro dos tubos de enchimento. Com o intuito de padronizar as tubulações, o diâmetro das tubulações de respiro será igual ao dos tubos rígidos. O respiro deve ser o mais curto possível e livre de curvas. No caso de tanques contendo óleos combustíveis ultra viscosos, o respiro não deverá possuir a tela de arame. Isso evitará o entupimento do respiro, devido à possibilidade de condensação dos vapores desprendidos pelo produto [3].

8.10 - Meios de ligação de tubos

Os diversos meios, usados para conectar tubos, servem não só para ligar os tubos entre si, como também para ligar os tubos às válvulas, às conexões e demais acessórios de tubulação, e aos equipamentos (tanques, bombas, vasos e etc.) [24].

Os principais meios de ligação de tubos são os seguintes [24]:

- Ligações rosqueadas;
- Ligações soldadas;
- Ligações flangeadas;
- Ligações de ponta e bolsa;
- Outros sistemas de ligação: ligações de compressão, ligações patenteadas etc.

A escolha do meio de ligação a usar depende de muitos fatores entre os quais: material e diâmetro da tubulação, finalidade e localização da ligação, custo, grau de segurança exigido, pressão e temperatura de trabalho, fluido contido, necessidade ou não de desmontagem, existência ou não de revestimento interno nos tubos etc. [24].

8.11 - Conexões de tubulação

8.11.1 - Classificação das conexões de tubulação:

Podemos classificar de acordo com as finalidades e tipos das principais conexões de tubulação (Fig. 34):

1. Fazer mudanças de direção em tubulações	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Curvas de raio longo} \\ \text{Curvas de raio curto} \\ \text{Curvas de redução} \\ \text{Joelhos (elbows)} \\ \text{Joelhos de redução} \end{array} \right\}$	de 22 ½°, 45°, 90° e 180°
2. Fazer derivações em tubulações	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tês normais (de 90°)} \\ \text{Tês de 45°} \\ \text{Tês de redução} \\ \text{Peças em "Y"} \\ \text{Cruzetas (crosses)} \\ \text{Cruzetas de redução} \\ \text{Selas (saddles)} \\ \text{Colares (sockolets, weldolets etc.)} \\ \text{Anéis de reforço} \end{array} \right\}$	
3. Fazer mudanças de diâmetro em tubulações	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Reduções concêntricas} \\ \text{Reduções excêntricas} \\ \text{Reduções bucha} \end{array} \right\}$	
4. Fazer ligações de tubos entre si	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Luvas (couplings)} \\ \text{Uniões} \\ \text{Flanges} \\ \text{Nipples} \\ \text{Virolas (para uso com flanges soltos)} \end{array} \right\}$	
5. Fazer o fechamento da extremidade de um tubo	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tampões (caps)} \\ \text{Bujões (plugs)} \\ \text{Flanges cegos} \end{array} \right\}$	

Figura 34 - Classificação das principais conexões de tubulação [24].

8.11.2 - Conexões rosqueadas

Essas conexões têm as extremidades com rosca interna, para rosqueamento direto nos tubos, ou rosca externa, para rosqueamento em outras peças (Fig. 35) [24].

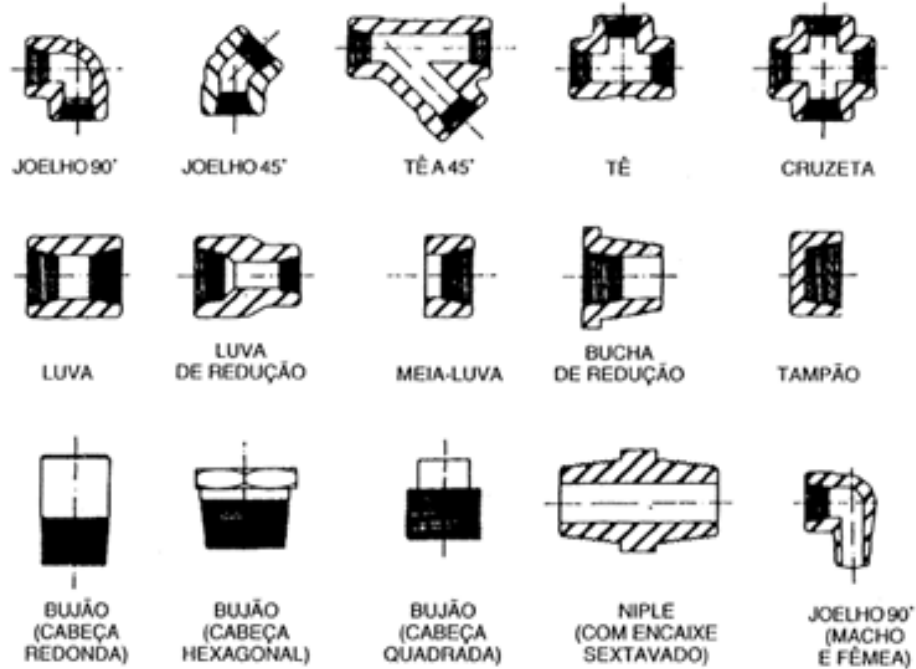



Figura 35 - Conexões rosqueadas [24].

A seguir, na Tab. 29, segue o tê selecionado:


Tabela 29 - Tê (3/4") [28].



Diâmetro Nominal		Dimensão em mm		Peso Unit. Galv. g
Polegada	mm	A		
3/4	20	33,3		280

A seguir, na Tab. 30, segue o tê de redução selecionado:

Tabela 30 - Tê de redução (2" x 2" x 1/2") [28].



Diâmetro Nominal		Dimensões em mm		Peso Unit. Galv. g
Polegada	mm	Z	X	
2 x 2 x 1/2	50 x 50 x 15	47,8	37,9	830

Será necessário fazer um furo rosqueado na superfície lateral do tê de redução (Fig. 36), para acoplar o tubo de acrílico. Onde houver a possibilidade de escolha, aconselha-se trabalhar com roscas grossas de passo largo. É comum atarraxar a mão e os machos devem ser movidos levemente para ajustar a saída dos cavacos. Há necessidade de se empregar lubrificante, tais como óleo solúvel de corte ou água.

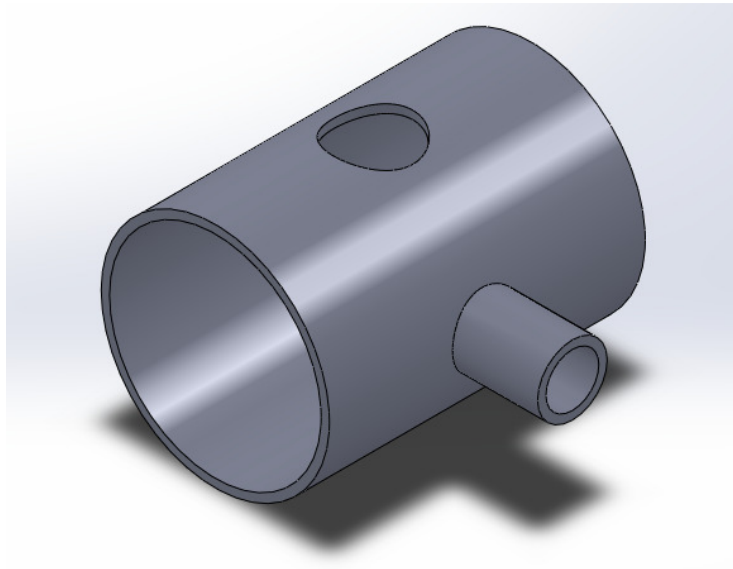


Figura 36 - Furo rosqueado na superfície lateral do tê de redução.


A seguir, na Tab. 31, seguem as dimensões da rosca escolhida para o furo rosqueado na superfície lateral do tê de redução.

Tabela 31 - Dimensões da rosca selecionada para o furo rosqueado na superfície superior do tê de redução [13].

ROSCA AMERICANA - NPT (AMERICAN NATIONAL STANDARD TAPER PIPE THREAD)							
ANSI - B2.1 - 1945				BRIGGS = 60°			
LEGENDA							
A	Diâmetro menor de centro a centro dos fios						
B	Diâmetro de centro a centro dos fios no ponto de calibração						
C	Fios imperfeitos						
D	Conicidade 1:16						
E	Comprimento efetivo da rosca						
F	Comprimento de calibração						
G	Diâmetro externo do tubo						
P	Passo						
DIMENSÕES							
Nominal	Fios por polegada	Profundidade (polegada)	A (pol.)	B (pol.)	E (pol.)	F (pol.)	P (pol.)
3/4"	14	0,05714	0,96768	0,98887	0,5457	0,339	0,07143

A seguir, na Tab. 32, segue o cotovelo de redução selecionado:

Tabela 32 - Cotovelo de redução (2" x 1") [29].



Diâmetro Nominal		Dimensões em mm		Peso Unit. Galv. g
Polegada	mm	X	Z	
2 x 1	50 x 25	43,9	51,3	650

Também será necessário fazer um furo rosqueado na superfície lateral do cotovelo de redução (Fig. 37), para acoplar o tubo de acrílico. Onde houver a possibilidade de escolha, aconselha-se trabalhar com roscas grossas de passo largo. É comum atarraxar a mão e os machos devem ser movidos levemente para ajustar a saída dos cavacos. Há necessidade de se empregar lubrificante, tais como óleo solúvel de corte ou água.

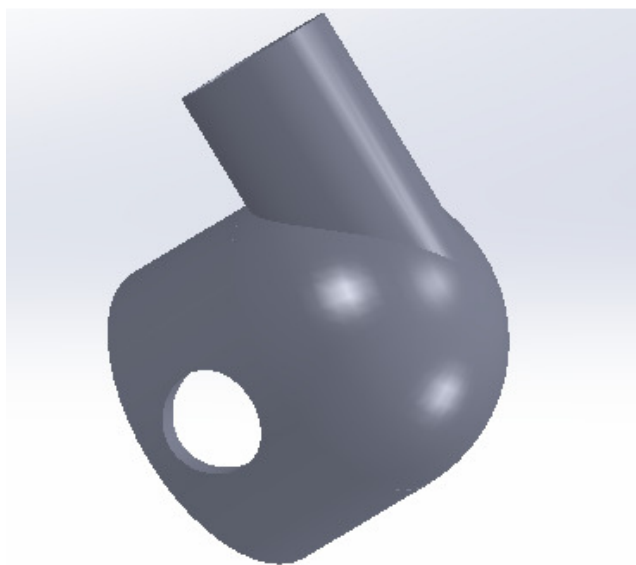
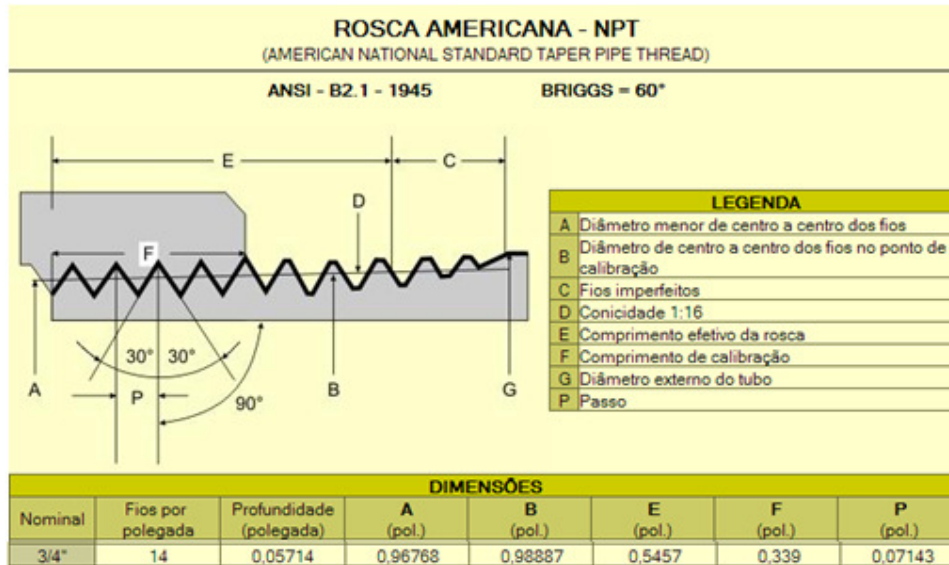


Figura 37 - Furo rosqueado na superfície lateral do cotovelo de redução.

A seguir, na Tab. 33, seguem as dimensões da rosca escolhida para o furo rosqueado na superfície lateral do cotovelo de redução.

Tabela 33 - Dimensões da rosca selecionada para o furo rosqueado na superfície superior do cotovelo de redução [13].



A seguir, na Tab. 34, seguem as buchas de redução selecionadas:

Tabela 34 - Buchas de redução [30].

	Diâmetro Nominal		Dimensões em mm		Peso Unit.
	Polegada	mm	D (mín)	S (mín)	Galv. g
	1/2 x 3/8	15 x 10	19	22,1	26
	1 x 1/2	25 x 15	25,5	36,1	107
	2 x 1	50 x 25	32,8	49,5	338

8.11.3 - Conexões de ligação (nipples)

Os nipples são pedaços curtos de tubos preparados especialmente para permitir a ligação de duas conexões entre si, ou de uma válvula com uma conexão, em tubulações onde se empregam ligações rosqueadas. Os nipples servem também para fazer pequenos trechos de tubulação [24].

Existe uma grande variedade de tipos de nipples, dos quais os principais são os seguintes [24]:

- 1. Nipples paralelos
 - Ambos os extremos rosqueados (both end threaded — BET).
 - Ambos os extremos lisos (both end plain — BEP).
 - Um extremo rosqueado e outro liso (one end threaded — OET).
- 2. Nipples de redução
 - Ambos os extremos rosqueados — (BET).
 - Ambos os extremos lisos — (BEP).
 - Extremo maior rosqueado e menor liso (large end threaded, small end plain — LET-SEP).
 - Extremo maior liso e menor rosqueado (large end plain, small end threaded — LEP-SET).



Figura 38 - Principais tipos de nipples [24].

Os nipples podem ser paralelos, isto é, de mesmo diâmetro, ou de redução, com extremidades de diâmetros diferentes. Os nipples paralelos são fabricados de pedaços de tubos cortados na medida certa e com as extremidades preparadas. Os nipples de redução são em geral fabricados por estampagem (repuxamento) de pedaços de tubos [24].

Os nipples são empregados principalmente nos diâmetros pequenos (até 4”), faixa em que se usam tubulações com rosca. O comprimento dos nipples varia em geral de 50 a 150mm. Os nipples rosqueados têm, às vezes, uma parte sextavada no centro para facilitar o aperto [24].

A seguir, na Tab. 35, seguem os nipples paralelos BET selecionados:

Tabela 35 - Nipples BET [31].

Diâmetro Nominal		Dimensões em mm		Peso Unit.
Polegada	mm	B	S	Galv. g
3/8	10	42	22	56
3/4	20	53	32	130
2	50	70	70	774

A seguir, na Tab. 36, seguem os nipples paralelos BEP selecionados:

Tabela 36 - Niples BEP [26].

TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL

Tabela de Aplicações

Diametro Externo	Espessura	Denominação	Peso Teórico	Aplicações Típicas
9,53	0,89	3/8" x 20 BWG	0,196	Instrumentação
12,70	1,00	-	0,292	Instrumentação
15,87	1,00	-	0,372	Instrumentação

8.11.4 - Ligações de compressão

As ligações de compressão são sistemas empregados para tubos de pequeno diâmetro (em geral até 50-60 mm), de aço-carbono, aços inoxidáveis e metais não ferrosos [24].

Uma das vantagens das ligações de compressão é a segurança mesmo na presença de combustíveis inflamáveis, pelo fato de não serem um “trabalho à quente” [24].

A seguir, na Fig. 39, seguem alguns exemplos de conexões para ligação de compressão:

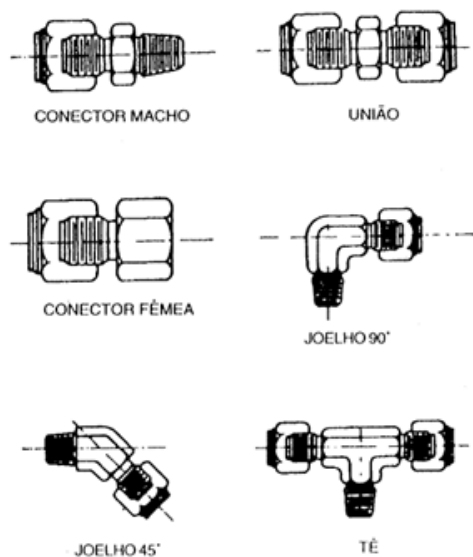
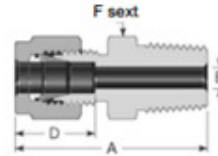


Figura 39 - Conexões para ligação de compressão [24].

A seguir, na Tab. 37, seguem os conectores macho com rosca NPT macho selecionados:

Tabela 37 - Conexões macho com rosca NPT macho [32].

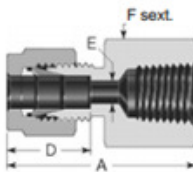


Rosca NPT Macho

OD (DE) do Tubo	Dim. da Rosca NPT Macho	Código Básico p/ Pedido	Dimensões			
			A	D	E ^Ø	F
Dimensões, pol.						
3/8	1/8	-600-1-2	1,39	0,66	0,19	5/8
	1/4	-600-1-4	1,57		0,28	5/8
	3/8	-600-1-6	1,57		0,28	11/16
	1/2	-600-1-8	1,82		0,28	7/8
	3/4	-600-1-12	1,88		0,28	1 1/16
	1	-600-1-16	1,85		0,28	1 3/8
1/2	1/8	-810-1-2	1,53	0,90	0,19	13/16
	1/4	-810-1-4	1,71		0,28	13/16
	3/8	-810-1-6	1,71		0,38	13/16
	1/2	-810-1-8	1,93		0,41	7/8
	3/4	-810-1-12	1,99		0,41	1 1/16
	1	-810-1-16	2,25		0,41	1 3/8
5/8	1/4	-1010-1-4	1,74	0,96	0,28	15/16
	3/8	-1010-1-6	1,74		0,38	15/16
	1/2	-1010-1-8	1,93		0,47	15/16
	3/4	-1010-1-12	1,99		0,50	1 1/16

A seguir, na Tab. 38, seguem os conectores fêmea com rosca NPT fêmea selecionados:

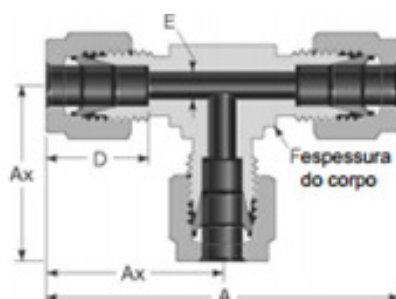
Tabela 38 - Conexões fêmea com rosca NPT fêmea [32].



OD (DE) do Tubo	Dim. da Rosca NPT Fêmea	Código Básico p/ Pedido	Dimensões			
			A	D	E	F
Dimensões, pol.						
3/8	1/8	-600-7-2	1,29	0,66	0,28	5/8
	1/4	-600-7-4	1,48			3/4
	3/8	-600-7-6	1,54			7/8
	1/2	-600-7-8	1,73			1 1/16
	3/4	-600-7-12	1,88			1 5/16
1/2	1/4	-810-7-4	1,59	0,90	0,41	13/16
	3/8	-810-7-6	1,65			7/8
	1/2	-810-7-8	1,84			1 1/16
	3/4	-810-7-12	1,90			1 5/16
5/8	3/8	-1010-7-6	1,65	0,96	0,50	15/16
	1/2	-1010-7-8	1,84			1 1/16
	3/4	-1010-7-12	1,90			1 5/16

A seguir, na Tab. 39, seguem os tês união selecionados:

Tabela 39 - Tê união [32].



OD (DE) do Tubo	Código Básico p/ Pedido	Dimensões				
		A	Ax	D	E	F
Dimensões, pol.						
3/8	-600-3	2,40	1,20	0,66	0,28	5/8
5/8	-1010-3	3,06	1,53	0,96	0,50	1

8.12 - Guias dos tubos de acrílico

Os indicadores de nível dos tanques de armazenagem do HFO e do LFO, que serão fabricados a partir de tubos de acrílico, necessitarão de guias para mantê-los na posição correta (vertical). Estes serão fabricados a partir da soldagem de um pedaço de tubo com diâmetro interno maior ou igual ao diâmetro externo do tubo de acrílico, depois será soldado à uma das extremidades de um niple BET de 3/4". A seguir, na Fig. 40, segue a ilustração dos guias dos tubos de acrílico:

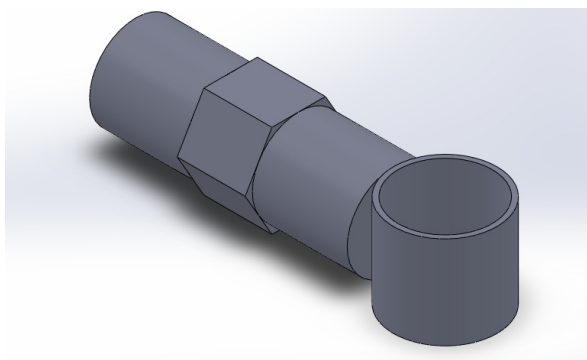


Figura 40 - Guias dos tubos de acrílico.

8.13 - Aquecimento e isolamento térmico de tubulações

8.13.1 - Finalidade do aquecimento das tubulações

O aquecimento das tubulações pode ser necessário pelos seguintes motivos [24]:

- Manter em condições de escoamento os líquidos de alta viscosidade ou mesmo materiais que sejam sólidos em temperatura ambiente.
- Manter determinados líquidos, por exigência de serviço, dentro de certos limites de temperatura. Essa exigência pode ser necessária, entre outras razões, para evitar mudanças de estado físico, transformações químicas ou para preservar determinadas propriedades do produto.
- Pré-aquecer as tubulações, no início do funcionamento, para liquefazer depósitos sólidos que se tenham formado no interior dos tubos, enquanto o sistema esteve parado. Com essa finalidade, basta que o aquecimento seja feito no período inicial de funcionamento, depois de cada interrupção prolongada de serviço.

Observa-se que, em nenhum caso, o aquecimento de tubulações destina-se a elevar a temperatura do líquido circulante; deseja-se apenas compensar as perdas de calor que se dão ao longo da tubulação, para que a temperatura inicial do líquido seja mantida [24].

O aquecimento pode ser dispensado nos trechos curtos de tubos, onde a perda de calor é pequena; deve ser lembrado, entretanto, que mesmo nesses trechos pode haver formação de depósitos sólidos de difícil remoção. Também se pode, em certos casos, dispensar o aquecimento, mesmo em tubulações longas, quando houver um sistema de injeção de um fluido de baixa viscosidade capaz de limpar a tubulação e dissolver os depósitos sólidos: o fluido de limpeza é injetado todas as vezes que o fluxo for interrompido ou a tubulação sair de operação [24].

8.13.2 - Aquecimento elétrico

O sistema de aquecimento escolhido foi o elétrico, que consiste na colocação de fios elétricos longitudinalmente ou em helicoide, por fora da tubulação a aquecer, pelos quais circula uma corrente de baixa voltagem e de grande intensidade. Os fios são presos à tubulação por meio de arame galvanizado, da mesma forma que os tubos de aquecimento [24]. A seguir, na Fig. 41 segue uma ilustração do aquecimento elétrico das tubulações.

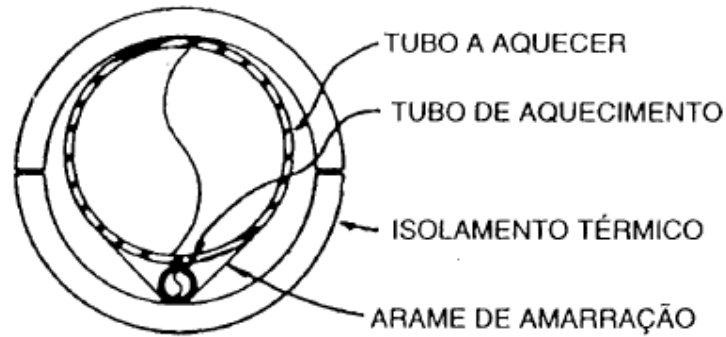


Figura 41 - Aquecimento por tubo externo paralelo [24].

A intensidade da corrente é regulada por um termostato cujo bulbo é fixado à tubulação medindo a temperatura da parede da mesma. Consegue-se assim controlar o aquecimento com bastante precisão [24].

O aquecimento elétrico é um sistema de custos inicial e operacional relativamente altos, razões pelas quais é pouco empregado. Tem, no entanto, várias vantagens sobre os outros sistemas [24]:

- Muito bom controle do aquecimento;
- Aquecimento rápido, de partida instantânea, e uniforme em toda a tubulação, porque não há queda de temperatura ao longo dos fios elétricos;
- Baixo custo de manutenção.

8.13.3 - Isolamento térmico

O isolamento térmico da tubulação do HFO será feito com calhas de silicato de cálcio e alumínio corrugado (Figs. 42 e 43).

O silicato de cálcio é produzido a partir de matérias-primas naturais como a cal virgem e a diatomita, reforçadas por fibras de celulose e vidro e totalmente isento de amianto, podendo ser utilizado em temperaturas de operação até 650°C, é quimicamente inerte, podendo ser utilizado em contato com todos os tipos de aço, sem causar corrosão [33]. As calhas de silicato de cálcio deverão possuir diâmetro interno igual ao diâmetro externo da tubulação do HFO, ou seja, 3/8" ou 9,525mm.

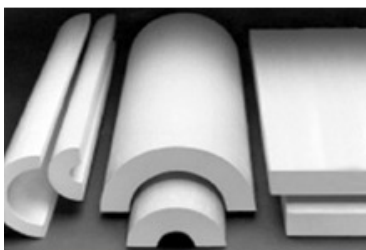


Figura 42 - Calhas de silicato de cálcio [33].

O alumínio corrugado serve como proteção mecânica para isolamento de tubulações e equipamentos em geral. Possui ótima resistência mecânica, sendo de fácil aplicação. O Alumínio Corrugado é Apresentado em rolos com 910 mm de largura e nas espessuras de 0,15 mm e 0,40 mm com dupla barreira contra condensação em papel kraft betuminoso [33].

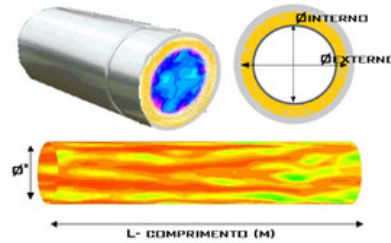


Figura 43 - Rolo de alumínio corrugado [33].

8.13.4 - Cálculo da perda de calor ao longo da tubulação do HFO

O cálculo foi feito através de um programa de perda de calor em tubulação disponível no site da empresa Lam Isolantes. O cálculo da perda de calor ao longo de um metro da tubulação do HFO pode ser visto na Fig. 44.

Cálculo de Perda de Calor em Tubulação



Obs: Utilize pontos e não vírgulas (Ex 0.003), valores negativos na resposta significam que a tubulação está absorvendo calor e não perdendo.

Temperatura Externa (°C graus Celsius)	Temperatura Interna (°C.graus Celsius)	Coefficiente de Condutibilidade K(kcal/C.m.h)	Diâmetro da Tubulação (ex: Aço) em "polegadas
20 C	130 C	0.054 Kcal/C.m.h	0.375 "pol
Espessura Isolamento		Comprimento	
1 "pol	1 m		

Clique aqui para obter a Perda em Kcal/h Kcal/h

Desenvolvido por

Diogo Gará Caetano (Eng.Eletricista) para

LAMISOLANTES TÉRMICOS LTDA.



Figura 44 - Cálculo da perda de calor ao longo de um metro da tubulação do HFO [34].

- $Q = 20,22$ [Kcal/h] = $23,52$ [W] - perda de calor ao longo de um metro da tubulação do HFO;

8.13.5 - Seleção do resistor elétrico

De acordo com o cálculo da perda de calor ao longo de um metro da tubulação do HFO, o resistor elétrico selecionado para o aquecimento da mesma foi: "pan electric cabo de aquecimento CA-S 25 W/m 220 V". Vide Tab. 40.

Tabela 40 - Resistor elétrico selecionado para aquecimento da tubulação do HFO [35].

CA - S		<p>Espiral de fio nikrothal 80*. Potências: 10,15, 20, 25, 30 e 40W/m. Tensões: 127V e 220V. Capa: borracha de silicone 200°C. Condutores: de cobre isolados com borracha de silicone 200°C. Cobertura (quando especificado): fibra de vidro, trança metálica, PFA ou Silicone. Projeto: cada usuário cortará o resistor conforme seu desenho. Aplicações: Calefações de tubulações com circulação de fluidos, portas de câmaras frigoríficas, etc.</p>
CA - SB		
CA - SBS		
Cabo de Aquecimento		

9 - Acessórios do Sistema

9.1 - Válvulas

As válvulas de bloqueio selecionadas foram a esfera, cujo núcleo é uma esfera, que gira sobre um diâmetro, deslizando entre anéis retentores de material resiliente não metálicos (materiais plásticos, borrachas, neoprene etc.) tornando a vedação absolutamente estanque (Fig. 45). As vantagens das válvulas de esfera sobre as de gaveta são o menor tamanho e peso, melhor vedação, maior facilidade de operação e menor perda de carga (comprimento equivalente de três diâmetros quando completamente abertas). Essas válvulas também são melhores para fluidos que tendem a deixar depósitos sólidos, por arraste, polimerização, coagulação etc. A superfície interna lisa da válvula dificulta a formação desses depósitos, enquanto que, a válvula de gaveta, o depósito de sólidos pode impedir o fechamento completo ou a própria movimentação da gaveta [24].

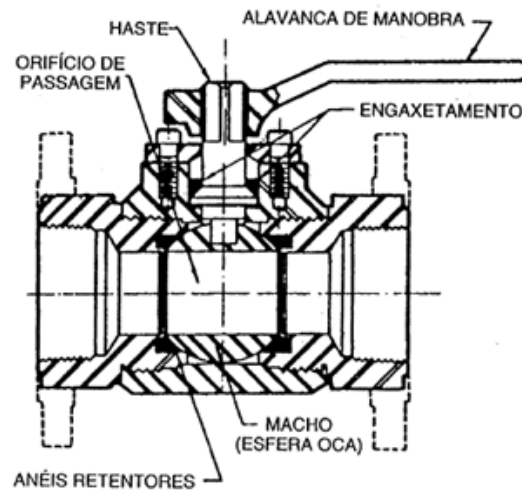
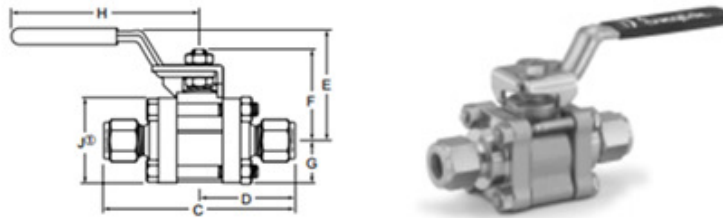


Figura 45 - Válvula esfera [24].

As válvulas de esfera convencionais não são adequadas para serviços em temperaturas elevadas, devido à limitação de temperatura dos anéis retentores não metálicos. Existem, entretanto, algumas válvulas de esfera que são com sedes metálicas atuadas por molas, para emprego em casos muito especiais, tais como temperaturas elevadas, fluidos abrasivos etc. [24].

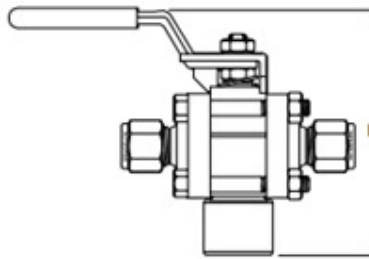
A seguir, nas Tabs. 41, 42 e 43, estão mostrando as válvulas de duas e três vias selecionadas para as tubulações e os seus componentes, respectivamente.

Tabela 41 - Válvula esfera de duas vias com conexões Swagelok (dupla anilha) para tubos selecionada para as tubulações [36].



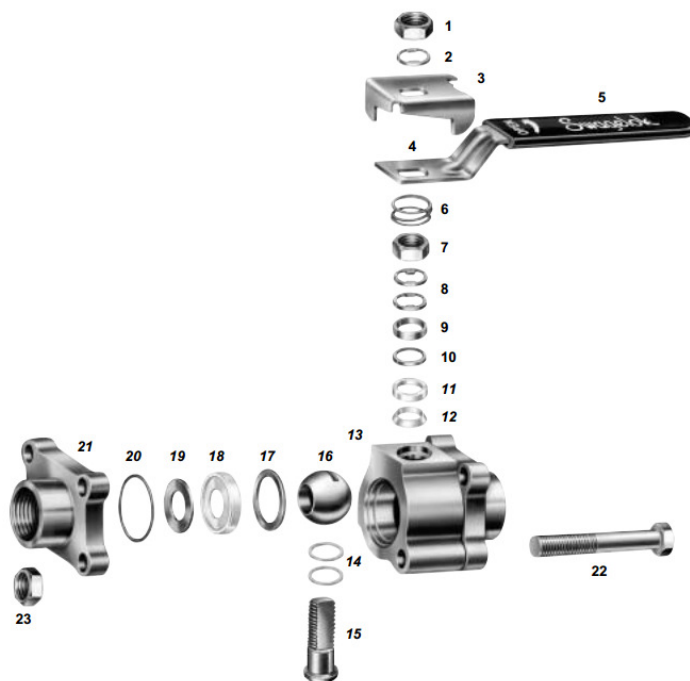
Tamanho	Código para Pedido	pol.(mm)	Cv	Dimensões, pol.(mm)						
				C	D	E	F	G	H	J*
1/2"	SS-63TS8	0,406 (10,3)	7,5	4,04 (103)	2,02 (51,3)	2,35 (59,7)	1,79 (45,5)	0,89 (22,6)	4,50 (114)	1,78 (45,2)

Tabela 42 - Válvula esfera de três vias com conexões Swagelok (dupla anilha) para tubos selecionada para as tubulações [36].



Séries da Válv.	Conexão Central	Designador	L pol. (mm)
63	1/2" conexão Swagelok p/tubo	-S8	4,48 (114)

Tabela 43 - Materiais de construção das válvulas seleccionadas [36].



Componente	Materiais do Corpo da Válvula ^①		
	Aço Inoxidável	Aço Carbono	Latão
	Tipo de Material/Norma ASTM		
1 Porca da haste	Aço Inoxidável 316	Aço de baixa liga Grau 7/A194	
2 Mola da haste ^②	Aço Inoxidável 316/A240 endurecido por encruamento		
3 Limitador de curso ^②	Aço Inoxidável 304/A240 ou Aço Inoxidável 316/A240		
4 Manopla	Aço Inoxidável 304/A240 ou Aço Inoxidável 316/A240		
5 Revestimento da manopla	Vinyl		
6 Mola de aterramento	Aço Inoxidável 302/A313		
7 Porca da haste ^③	Aço Inoxidável 316	Aço de baixa liga Grau 7/A194	
8 Molas da haste (2)	Aço Inoxidável 316/A240 endurecido por encruamento		
9 Anel	Aço Inoxidável 316/B783 revestido em PTFE	Latão CDA 360/B16	
10 Suporte da vedação	Polietere-eterquetona (PEEK)		
11 Vedação superior	PTFE Reforçado ^④		
12 Vedação inferior	PTFE Reforçado ^④		
13 Corpo	Aço Inox 316/A479 ou CF3M/A351 W60 - Aço Inox 316L/A479	WCB ^⑤ /A216	Latão CDA 360/B16
14 Mancais da haste ^⑥	Liga X-750/AMS 5542		PEEK
15 Haste	Aço Inoxidável 316/A276 ou A479		
16 Esfera	Aço Inoxidável 316/A276		Série 62 - Aço Inox 316/A276; Séries 63, 65 - Latão CDA 360/B16
17 Anéis de suporte (2)	Aço Inoxidável 316/A240		
18 Assentos (2)	PTFE Reforçado ^④		
19 Molas prato (2)	Aço Inoxidável 316/A167 ou A240 endurecido por encruamento		
20 Vedações dos flanges (2)	Fluorcarbono FKM ^⑦		
21 Flanges (2)	Aço Inox 316L/A479 ou CF3M/A351	WCB ^⑤ /A216	Latão CDA 360/B16
22 Parafusos p/ fixação do corpo (4)	Aço Inox 316 gr B8M cl 2/A193	Aço carbono cadmiado grau 8/SAE J429 ^⑧	
23 Porcas sext. do corpo (8 ou 4)	Aço Inox 316 gr 8M str hd/A194	Aço carbono cadmiado grau 8/SAE J995 ^⑧	
Lubrificantes	Com base de Silicone e PTFE; estão disponíveis outros lubrificantes		

O material (PTFE Reforçado) utilizado tanto para a vedação superior (item 11 da Tab. 43) quanto para a vedação inferior (item 12 da Tab. 45) são considerados mais do tipo plástico do que do tipo flexível. Resistem à corrosão com praticamente todos os fluidos. O seu comportamento em temperatura permite-lhes serem utilizados como vedações de estanqueidade de válvulas de um modo geral. Temperaturas de utilização de -270°C e $+250^{\circ}\text{C}$.

9.2 - Viscosímetro

Na seleção do medidor de viscosidade, procurou-se manter o mesmo padrão utilizado no projeto do motor bunker original, portanto, foi selecionado um viscosímetro que mede a oscilação de uma lâmina vibrante imersa no fluido de medição, cuja taxa de amortecimento é função da viscosidade. A seguir, nas Figs. 46, 47 e 48 e nas Tabs. 44 e 45, podemos visualizar a ilustração, as dimensões, as possíveis localizações de instalação, as características e a especificação do viscosímetro selecionado (Viscomaster 7829).



Figura 46 - Viscomaster 7829 [37].

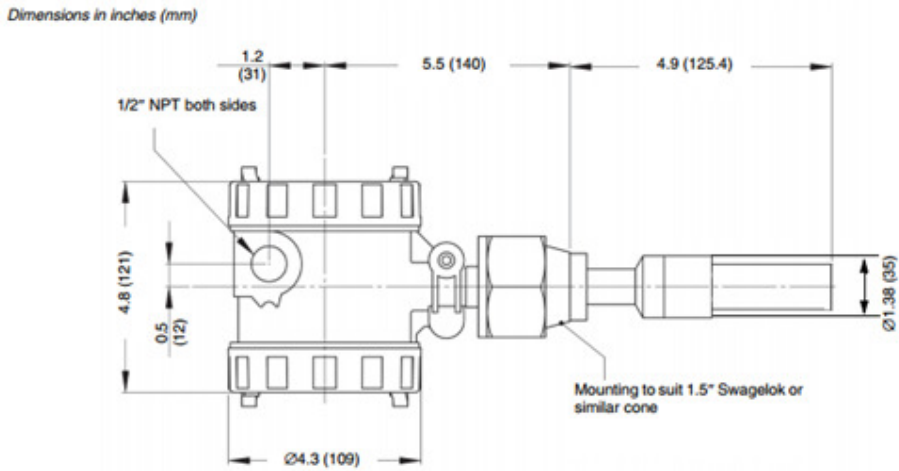


Figura 47 - Dimensões do Viscomaster 7829 [37].

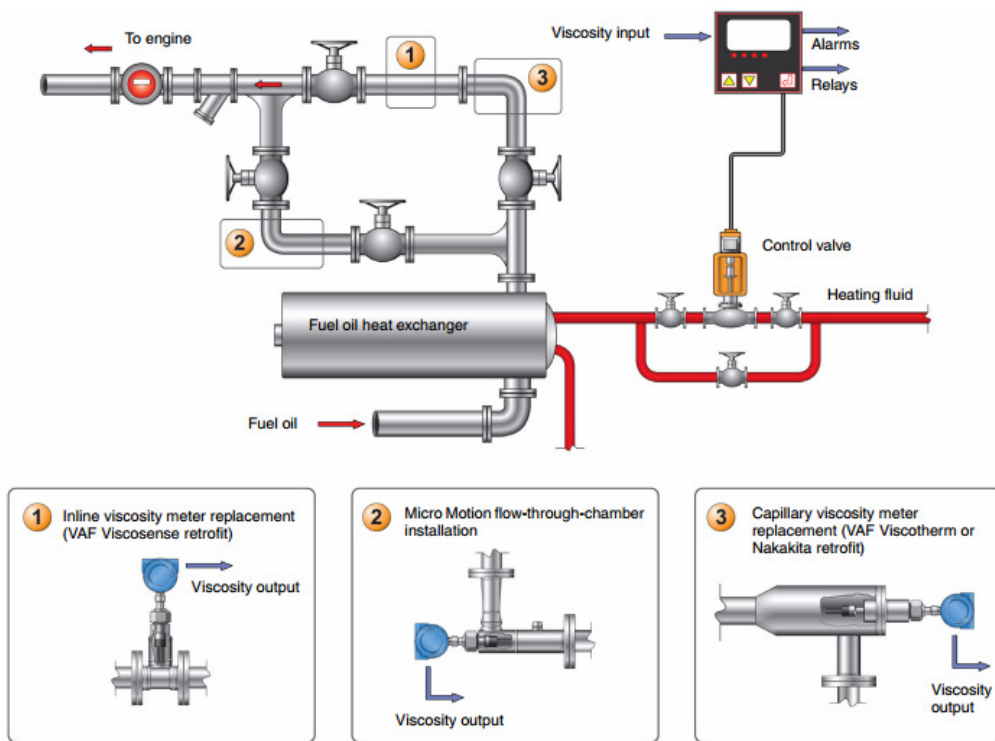


Figura 48 - Exemplos das possíveis localizações de instalação do Viscomaster 7829 [37].

Tabela 44 - Características do Viscomaster 7829 [37].

Recursos	
<ul style="list-style-type: none"> • Sem peças móveis - manutenção mínima • Medição contínua de viscosidade, densidade e temperatura • Medições de viscosidade e densidade de referência • Saídas de 4 a 20 mA configuráveis pelo usuário • Saída MODBUS de todos os parâmetros • Sensor revestido de PFA, que resiste a acúmulos de produto/asfalteno • Adaptadores disponíveis para viscosímetros marítimos com a tecnologia existente • Ferramenta de configuração baseada em PC 	
Benefícios	
<ul style="list-style-type: none"> • Viscosidade dinâmica e cinemática • Medição precisa de viscosidade e densidade da linha e de referência • Mais confiável: sem peças móveis nem vedações • Pode ser inserido em instalações de viscosímetros em linha ou capilares • Mais resistente a obstrução e detritos • Boa repetibilidade 	

Tabela 45 - Especificações resumidas do Viscomaster 7829 [37].

Exatidão da viscosidade	$\pm 0,2$ cSt (0,5-10 cSt) ± 1 cSt (10 a 100 cSt)
Faixa de viscosidade	0 – 100 cSt
Repetibilidade	$\pm 0,50\%$ da leitura
Precisão da densidade	$\pm 0,001$ g/cc (± 1 kg/m ³) ($\pm 0,06$ lb/ft ³)
Repetibilidade	$\pm 0,0001$ g/cc ($\pm 0,1$ kg/m ³) ($\pm 0,006$ lb/ft ³)
Efeito da pressão	Desprezível
Faixa de temperatura	-50 a +200 °C
Peças molhadas	Aço inoxidável 316L, PFA
Componentes eletrônicos	Transmissor montado integralmente com 2 saídas de 4 a 20 mA e Modbus RS485

9.3 - Termostatos

A função do termostato é impedir que a temperatura do HFO presente no tanque de armazenagem, no tanque de serviço e na tubulação, varie além dos limites estabelecidos.

Um mecanismo desse tipo é composto, fundamentalmente, por dois elementos: um que indica a variação térmica sofrida pelo sistema e é chamado elemento sensor; outro que controla essa variação e corrige os desvios de temperatura, mantendo-a dentro do intervalo desejado.

A seguir, na Fig. 49, está a ilustração e logo na sequencia encontram-se as características dos termostatos selecionados.



Mod.: TS-140/CD

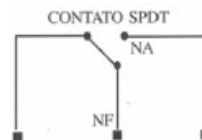


Figura 49 - Termostato selecionado para controlar a temperatura do HFO presente no tanque de armazenagem, tanque de serviço e na tubulação [38].

Características:

- Caixa: alumínio fundido;
- Tampa e Manipulador: em PVC;
- Capilar e Bulbo: de cobre de até 1.000mm;
- Haste de imersão: de aço inox ou latão de até 1.000mm;
- Contatos elétricos: NF (normalmente fechado) ou NA (normalmente aberto) ou tipo SPDT com 3 polos (NA - NF);

- Capacidade: 220 Volts AC;
- Diferencial de liga-desliga = 4% do valor da temperatura;
- Escala: 0 + 200°C.

9.4 - Transdutor de Temperatura

O transdutor de temperatura selecionado foi o termopar, devido a sua simplicidade, confiabilidade, baixo custo e robustez. O termopar é um transdutor que basicamente tem seu funcionamento baseado na junção de dois metais diferentes, condutores ou semicondutores. Uma junção é chamada de junta de referência ou junta fria, da qual a temperatura é conhecida; e a junta de medição ou junta quente se encontra no local em que se deseja medir/conhecer a temperatura. A diferença de temperatura entre a junta quente e a junta fria pode ser obtida por meio da medição da diferença de potencial (ddp) gerada entre as juntas (Fig. 50) [39].

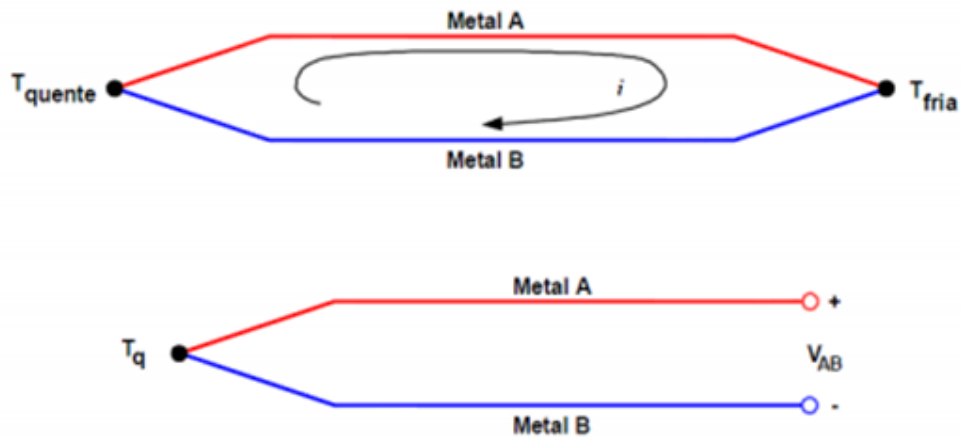


Figura 50 - Representação da montagem do termopar [39].

A seguir, na Tab. 46, encontram-se as características, os benefícios e as aplicações do termopar selecionado.

Tabela 46 - Termopar selecionado [40].

TEMPERATURA

Linha Automação



Série

WTTIL-4400

TRANSMISSOR DE TEMPERATURA
COM INDICAÇÃO LOCAL

Os transmissores de temperatura série WTTIL-4400 são projetados para aplicações em processos onde exatidão e confiabilidade são importantes, tem como principal característica a indicação local.

Características

- Invólucro industrial robusto de aço inoxidável AISI 304
- Visor 100mm (4")
- Grau de proteção: IP.65
- Display 3.1/2 dígitos
- Resolução: Resolução -1999 a +1999 para 31/2 dígitos.
- Faixa de Temperatura: a definir
- Haste inox: fixa ou flexível
- Ligação: vertical ou horizontal
- Comprimento: a definir
- Tipo de sensor: PT.100 ou Termopar "K"
- Sinais de saída: 4 a 20mA (2 fios).
0 a 5 Vcc (3 fios).
0 a 10 Vcc (3 fios).
- Resistência de carga: 0 a 1200 ohms p/ 24 Vdc
- Alimentação: 15 a 36 Vdc típica: 24Vdc
- Conexão Elétrica: DIN 43650 ou Prensa Cabo
- Temperatura de operação Invólucro: até 60°C
- Precisão: 0.5% (opcional 0,25%) do SPAN
- Conexão de Pressão: 1/2" NPT ou BSP
- Peso: 0,4 Kg
- Opcional: flange de fixação dianteira ou traseira

Benefícios

- Alta confiabilidade.
- Fácil instalação.
- Montagem compacta com invólucro em aço inoxidável.
- Fabricação nacional.

Aplicações

- Sistemas de controle de processos
- Sistemas pneumáticos
- Sistemas hidráulicos
- Refrigeração
- Instrumentação
- Compressores
- Bombas

Novembro/2005



10 - Conclusão

Este trabalho procurou apresentar os óleos combustíveis marítimos de uma forma geral, e a partir da seleção destes [óleo combustível marítimo MF-380 (HFO) e óleo diesel marítimo (MDO)] e do motor, foram feitos todos os cálculos necessários para dimensionamento da unidade de aquecimento de combustível e para a seleção de seus componentes.

Uma vez finalizado o projeto, o próximo passo é colocar as ideias propostas em prática. Para isso, será necessário realizar a compra dos componentes fabricados por empresas especializadas. Os demais componentes devem ser fabricados pelo Laboratório de Máquinas Térmicas (LMT) da UFRJ, conforme descrito no decorrer do projeto. Em seguida, será preciso fazer montagem das peças, atividade esta, que pode ser realizada por outro aluno de graduação (projeto final, iniciação científica e etc), que inclusive pode acompanhar todo o processo de fabricação. Desta forma, será possível preparar toda a bancada, deixando-a pronta para funcionar. A localização do banco de provas será no subsolo do próprio laboratório, onde existem espaços destinados para esta aplicação.

A princípio, na parte de concepção do projeto, foram definidos alguns testes específicos para avaliação de depósitos em bicos injetores. No entanto, caso necessário, é possível fazer adaptações ao projeto para que outros testes não previstos também possam ser realizados.

Finalmente, é importante ressaltar que ao longo do projeto foi necessário encarar algumas dificuldades. Uma delas foi lidar com o mercado de fornecedores, que foi sendo obtida durante o período de pesquisa e seleção dos componentes. Outra dificuldade enfrentada foi tentar levar em consideração o custo ou economia que algumas decisões causariam, isto deve-se ao fato de que não foi possível fazer o levantamento do preço oferecido por todos os fabricantes de cada um dos principais componentes a serem adquiridos, ou seja, aqueles que mais influenciarão no custo final do projeto (balanças, células de carga, condicionador de sinal das células de carga, válvulas e etc). Além disso, alguns fabricantes estão localizados em outros estados, o que gera um custo de frete que não foi contabilizado.

11 – Referências bibliográficas

- [1] ISO 8217, Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels, 3ª ed. 2005.
- [2] VERMEIRE, Monique B., Everything You Need to Know About Marine Fuels, Chevron Products Company, San Ramon, CA, 2008.
- [3] Repositório digital do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG, www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/liquidos/oleocomb/armaz.htm, acessado em 17/01/2013.
- [4] Repositório digital da empresa Petrobras Distribuidora S.A, <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/fb08378043a7acc4895a8fecc2d0136c/fispq-oleocomb-oc-mar-mf-380.pdf?MOD=AJPERES>, acessado em 22/01/2013.
- [5] Repositório digital da empresa Petrobras Distribuidora S.A, <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/df3e998043a79983b63abfecc2d0136c/fispq-oleodiesel-maritimo.pdf?MOD=AJPERES>, acessado em 22/01/2013.
- [6] FLEISCHMAN, Rafael, Aparato Experimental para Avaliação de Depósitos em Bicos Injetores de Motores Diesel Operando com Óleos Vegetais, Agosto de 2013.
- [7] AGRALE S.A., Departamento De Peças e Assistência Técnica, Catálogo de Peças: Motor M95W (Estacionário), 2 ed. Caxias do Sul, RS.
- [8] HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY, USA, Technical Manual Operator's, Unit And Direct Support Maintenance Manual (Including Repair Parts And Special Tools List) For Precision Oxidation Stability Bath Model Ts 75042 Ar-5, 15 oct. 1990.
- [9] Repositório digital da empresa Redentor, <http://www.redentor.ind.br/loja/index.php/transferecia-e-transporte/cavalete-para-tambor-de-200-litros.html>, acessado em 24/01/2013.

[10] INDAC, Instituto Nacional para Desenvolvimento do Acrílico, Acrílico do começo ao fim.

[11] Repositório digital da empresa Macedo Plásticos, <http://www.macedoplasticos.com.br/acrilicos.html>, acessado em 18/03/2013.

[12] Repositório digital da empresa Acrilrio, <http://www.acrilrio.com.br/tubos-e-tarugos.htm>, acessado em 18/03/2013.

[13] Repositório digital da empresa Val Aco, http://www.valaco.com.br/inf_tecnicas/enc_npt.html, acessado em 19/03/2013.

[14] Repositório digital da empresa Tupy, http://www.tupy.com.br/portugues/produtos/conexoes_produtos_linha.php?l=nptm&g=6, acessado em 19/03/2013.

[15] Repositório digital da empresa Micheletti, <http://www.balancasmicheletti.com.br/produtos/categoria/1>, acessado em 01/08/2013.

[16] CARER, Maurício; CARRARO, Edver. Célula de Carga. Disponível em: <http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/cel61.pdf>, acessado em 05/05/2013.

[17] Repositório digital da empresa Mkcontrole, http://www.mkcontrole.com.br/ficha_csa_zl.html, acessado em 07/05/2013.

[18] Repositório digital da empresa Mkcontrole, http://www.mkcontrole.com.br/ficha_mktc05.html, acessado em 21/05/2013.

[19] Repositório digital da empresa CableMAX, <http://www.cabosdeacocablemax.com.br/gancho-haste.html>, acessado em 22/05/2013.

[20] Repositório digital da empresa Support, http://www.support.eco.br/catalogo/manta_ceramica.pdf, acessado em 27/02/2013.

- [21] Repositório digital da empresa Votorantim Metais, <http://www.vmetais.com.br/pt-BR/Negocios/Aluminio/Documents/Cat%C3%A1logo%20Folhas%20de%20Alum%C3%ADnio.pdf>, acessado em 27/02/2013.
- [22] OZISIK, M. NECATI, Transferência de Calor (Um texto Básico), Guanabara Koogan S.A, 1990.
- [23] Repositório digital da empresa Anluz, http://www.anluz.com.br/catalogo/catalogo_completo.pdf, acessado em 16/03/2013.
- [24] SILVA TELLES, PEDRO C., Tubulações Industriais (Materiais, Projeto, Montagem), 10ª ed. LTC, 2012.
- [25] Repositório digital do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR, <ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM141/aula01.pdf>, acessado em 24/01/2013.
- [26] Repositório digital da empresa Cavallo Aços, <http://www.cavalloacos.com.br/pt/5/TABELAS#>, acessado em 01/03/2013.
- [27] Repositório digital da empresa Eaton, http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@eaton/@hyd/documents/content/pct_479318.pdf, acessado em 30/04/2013.
- [28] Repositório digital da empresa Tupy, http://www.tupy.com.br/portugues/produtos/conexoes_produtos_linha.php?l=nptm&g=7, acessado em 19/03/2013.
- [29] Repositório digital da empresa Tupy, http://www.tupy.com.br/portugues/produtos/conexoes_produtos_linha.php?l=nptm&g=2, acessado em 19/03/2013.

[30] Repositório digital da empresa Tupy, http://www.tupy.com.br/portugues/produtos/conexoes_produtos_linha.php?l=nptm&g=6, acessado em 19/03/2013.

[31] Repositório digital da empresa Tupy, http://www.tupy.com.br/portugues/produtos/conexoes_produtos_linha.php?l=npta&g=3, acessado em 19/03/2013.

[32] Repositório digital da empresa Swagelok, <http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/PT/MS-01-140.pdf>, acessado em 21/03/2013.

[33] Repositório digital da empresa Kort Calhas, <http://www.kortacalhas.com.br/produtos.html>, acessado em 26/04/2013.

[34] Repositório digital da empresa Lam Isolantes, http://www.lamisolantes.com.br/calculo/calcula_perda_tubulacao.htm, acessado em 05/05/2013.

[35] Repositório digital da empresa Pan Eletric, <http://www.pan.com.br>, acessado em 07/05/2013.

[36] Repositório digital da empresa Swagelok, <http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/PT/MS-01-146.pdf>, acessado em 16/04/2013.

[37] Repositório digital da empresa Emmerson Process, <http://www2.emersonprocess.com/pt-br/brands/micromotion/density-viscosity-meters/7829-viscomaster-viscosity-meters/Pages/index.aspx>, acessado em 07/06/2013.

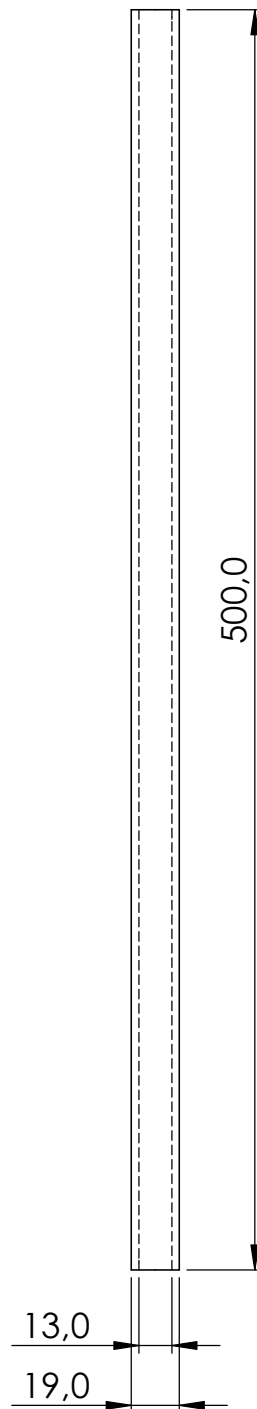
[38] Repositório digital da empresa Asta, <http://www.asta.com.br/v2/pdf/termostato.pdf>, acessado em 28/04/2013.

[39] Repositório digital do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/19313/19313_4.PDF, acessado em 29/04/2013.

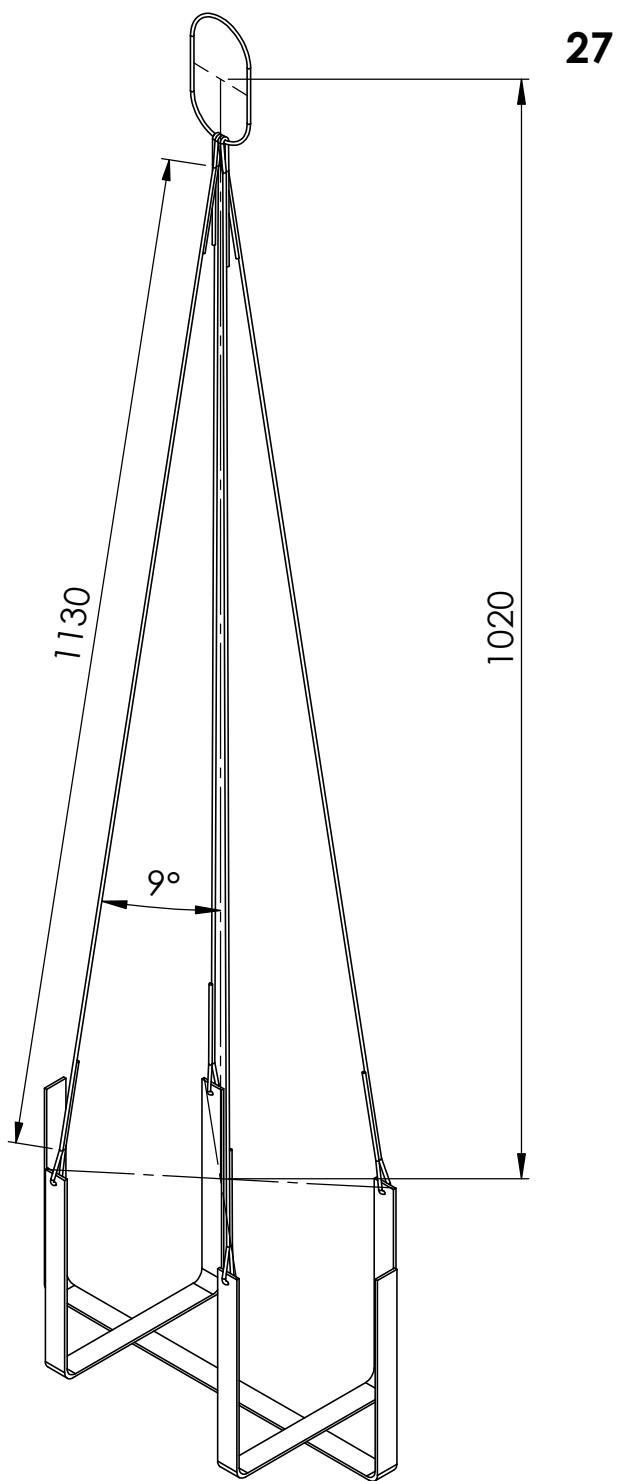
[40] Repositório digital da empresa Warne, <http://www.warne.com.br/files/folhasTecnicas/wttit4400.pdf>, acessado em 07/05/2013.

12- Anexos

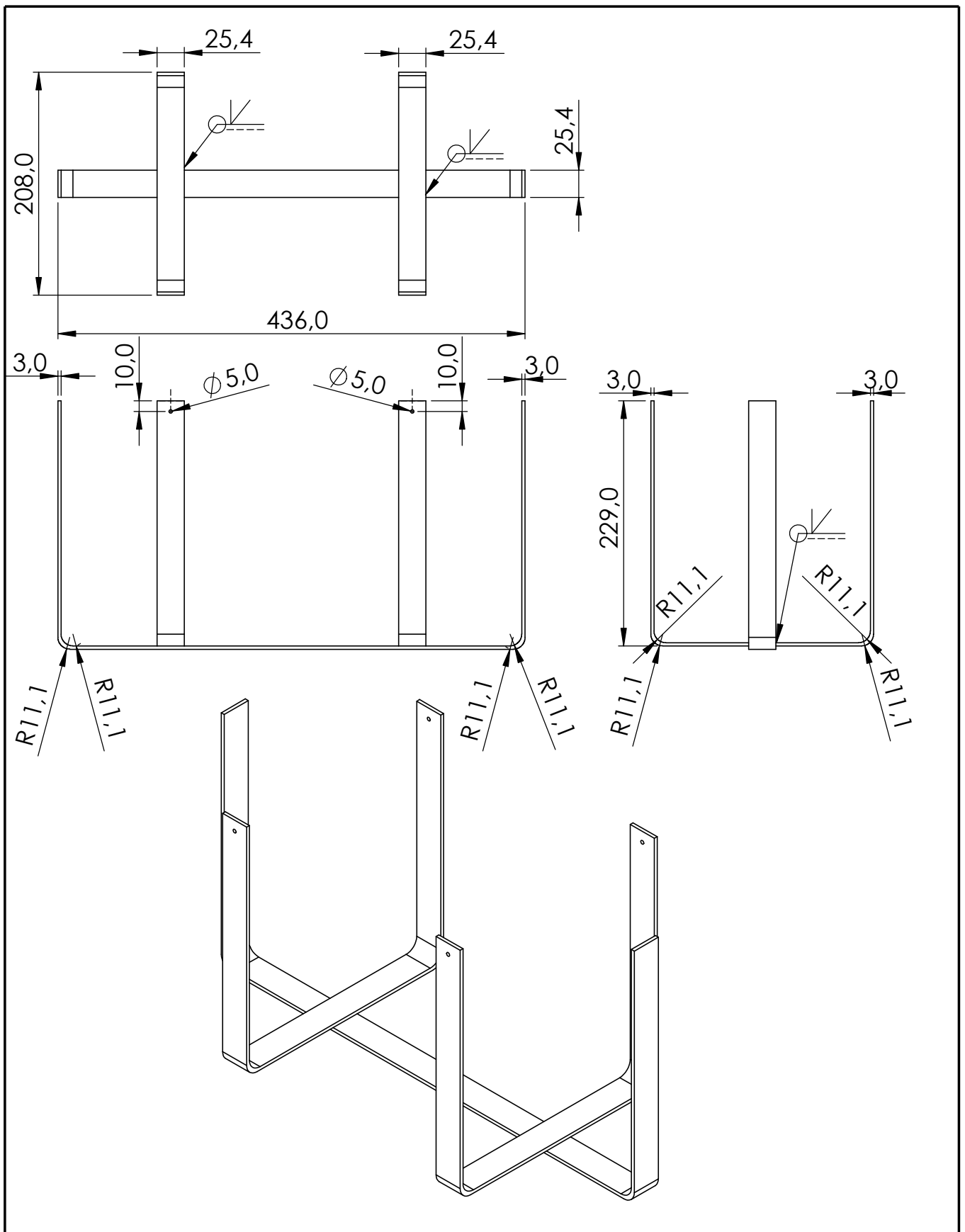
5



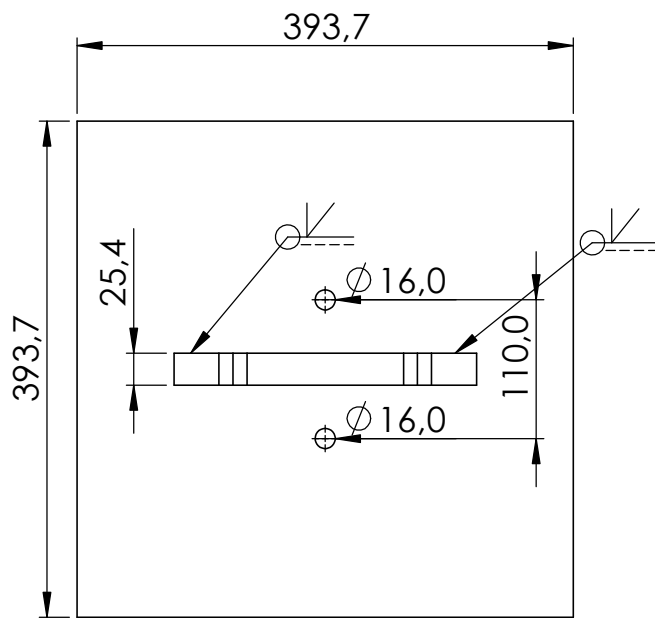
5	Tubo de acrílico	2	Acrílico
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:2
Prof. Albino José Kalab Leiroz e Marcelo José Colaço		Projeto Final	UFRJ
			Unidade: mm



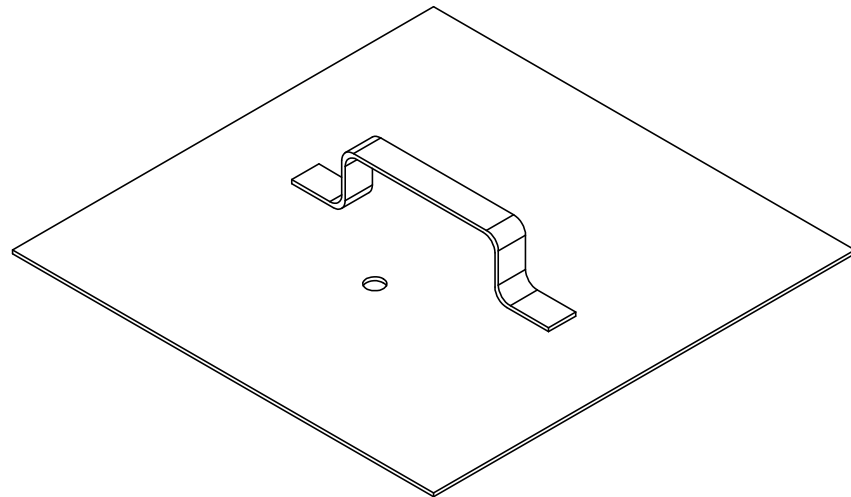
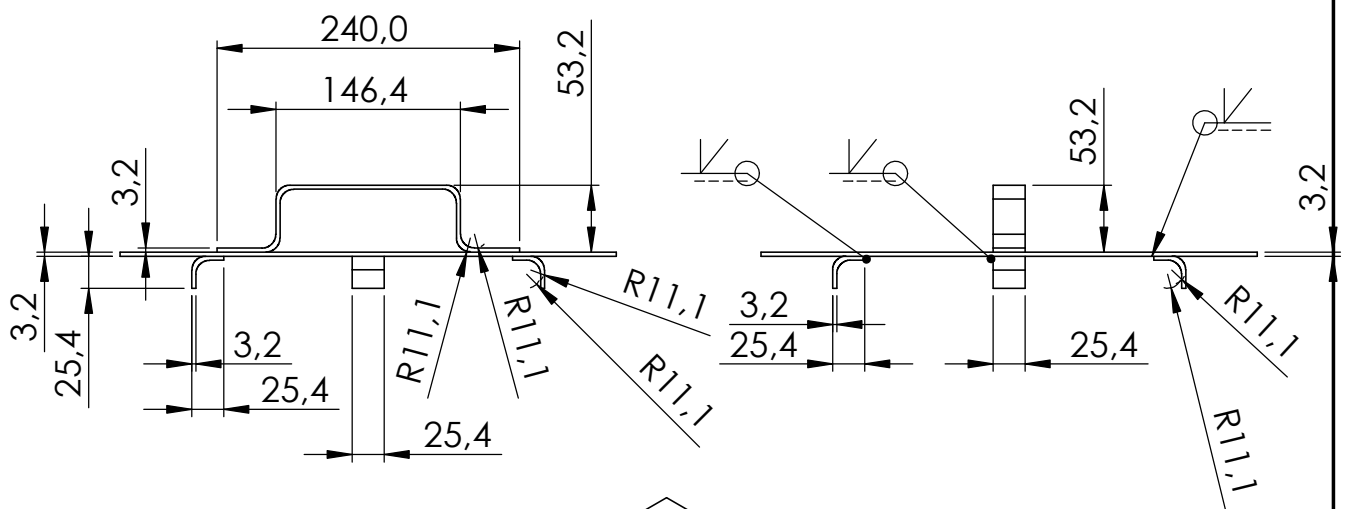
27	Suporte do tanque de serviço do LFO	1	Aço
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:7
Prof. Albino José Kalab Leiróz		Projeto Final	UFRJ
			Unidade: mm



-	Base de suspensão do tanque de serviço do LFO	1	Aço
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:5
Prof. Albino José Kalab Leiroz e Marcelo José Colaço		Projeto Final	UFRJ Unidade: mm

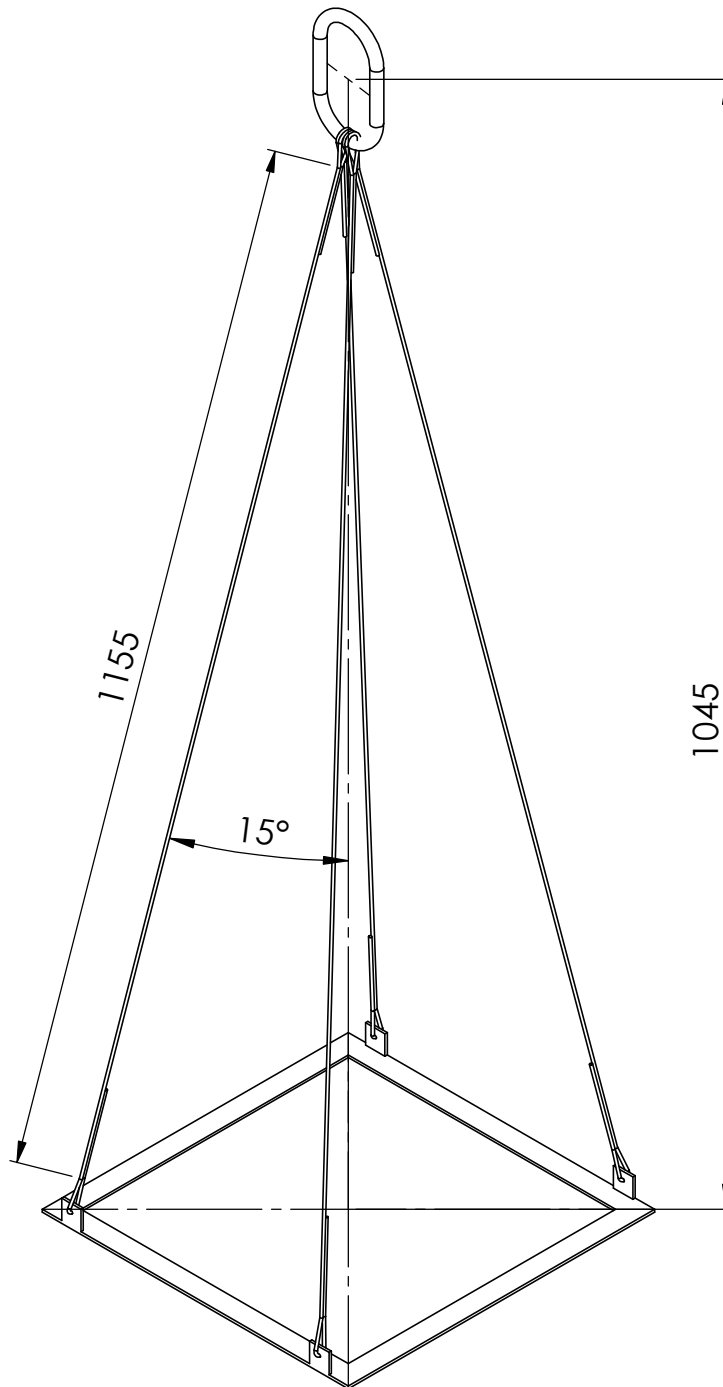


37

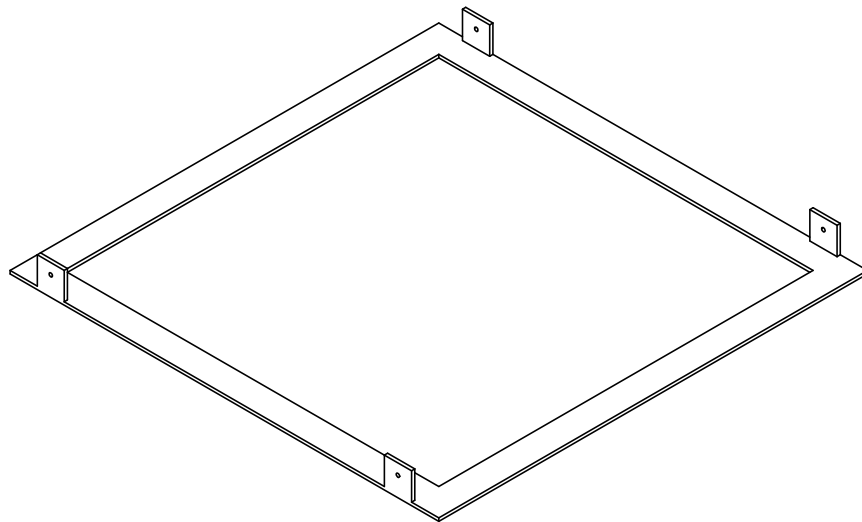
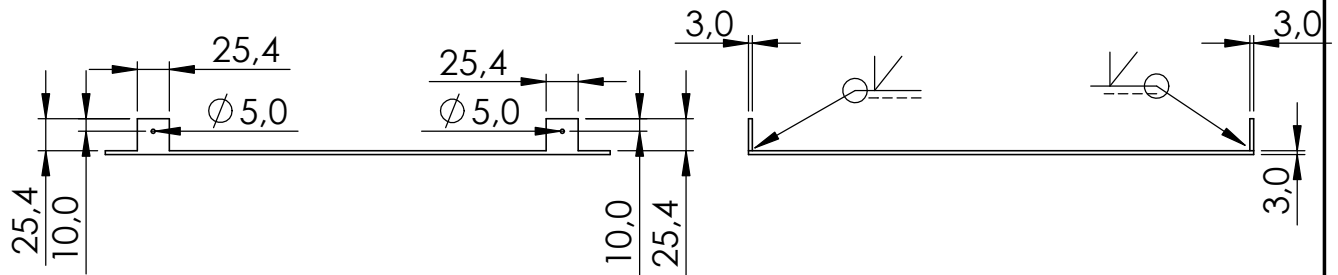
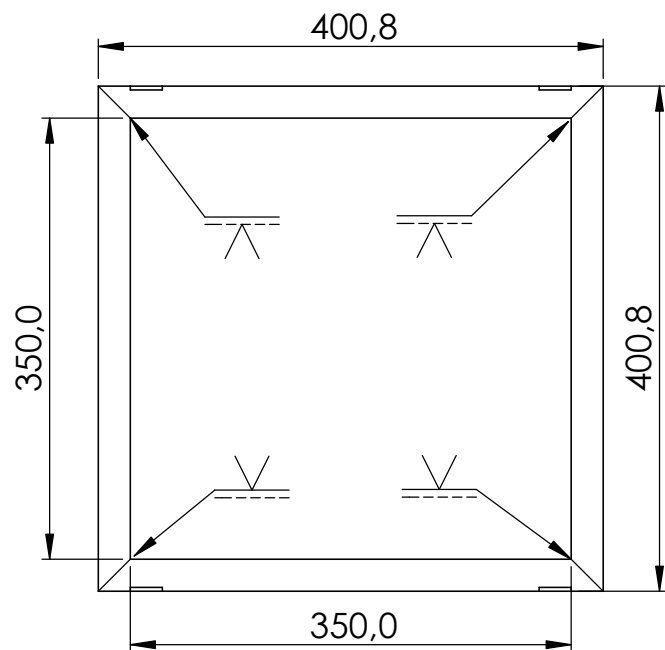


37	Tampa do tanque de serviço do HFO	1	Aço
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:6
Prof. Albino José Kalab Leiroz e Marcelo José Colaço		Projeto Final	UFRJ
			Unidade: mm

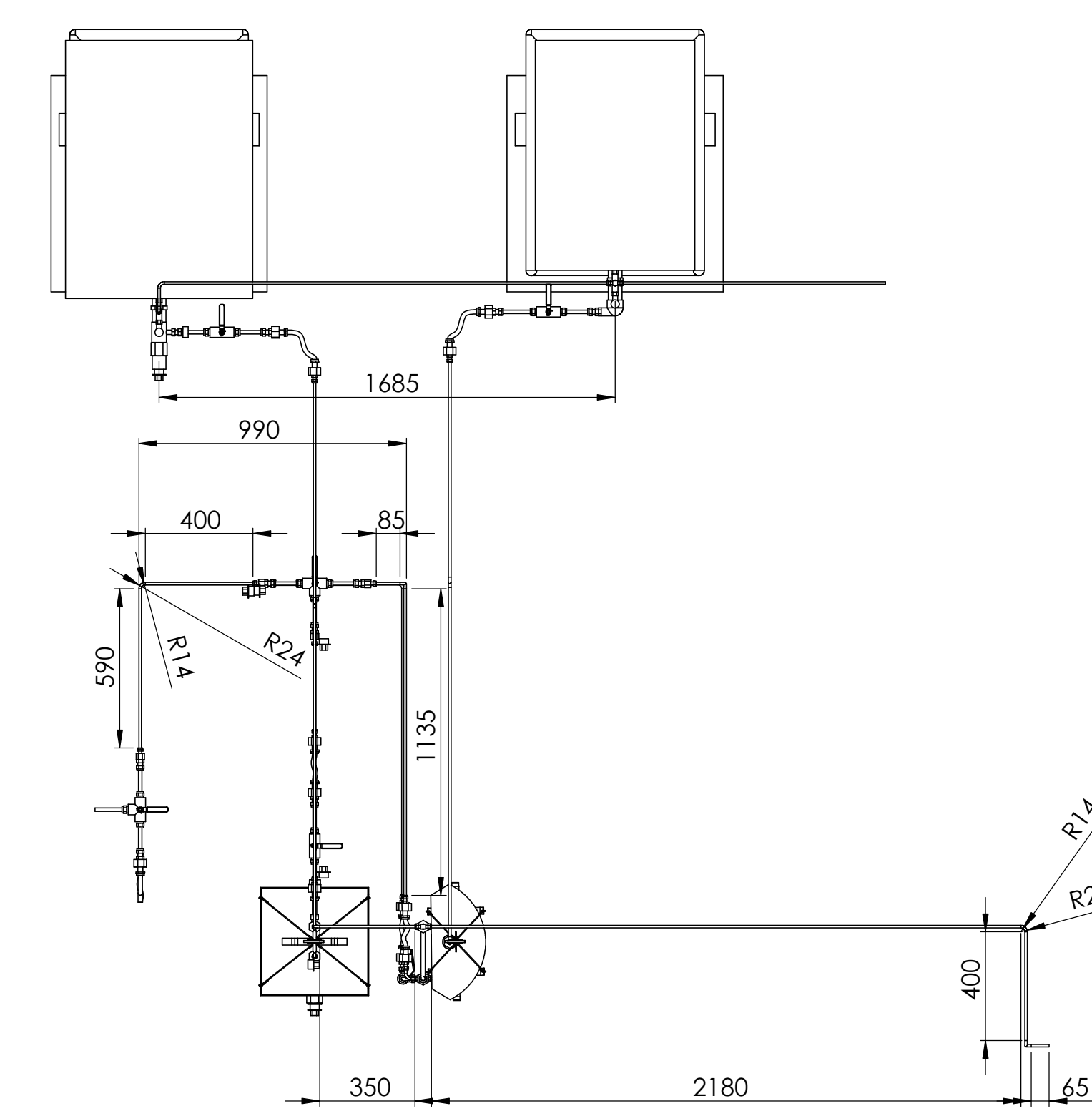
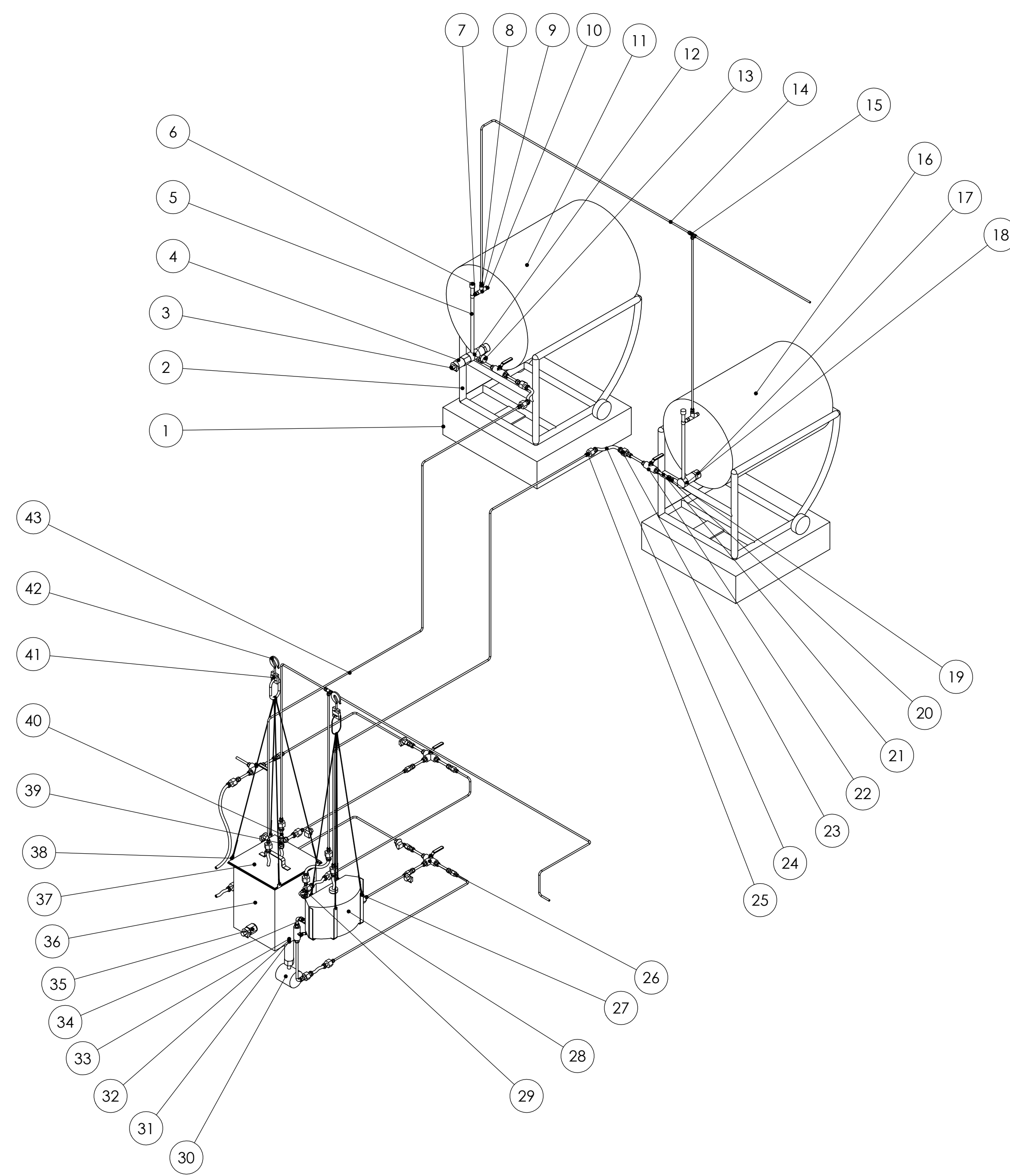
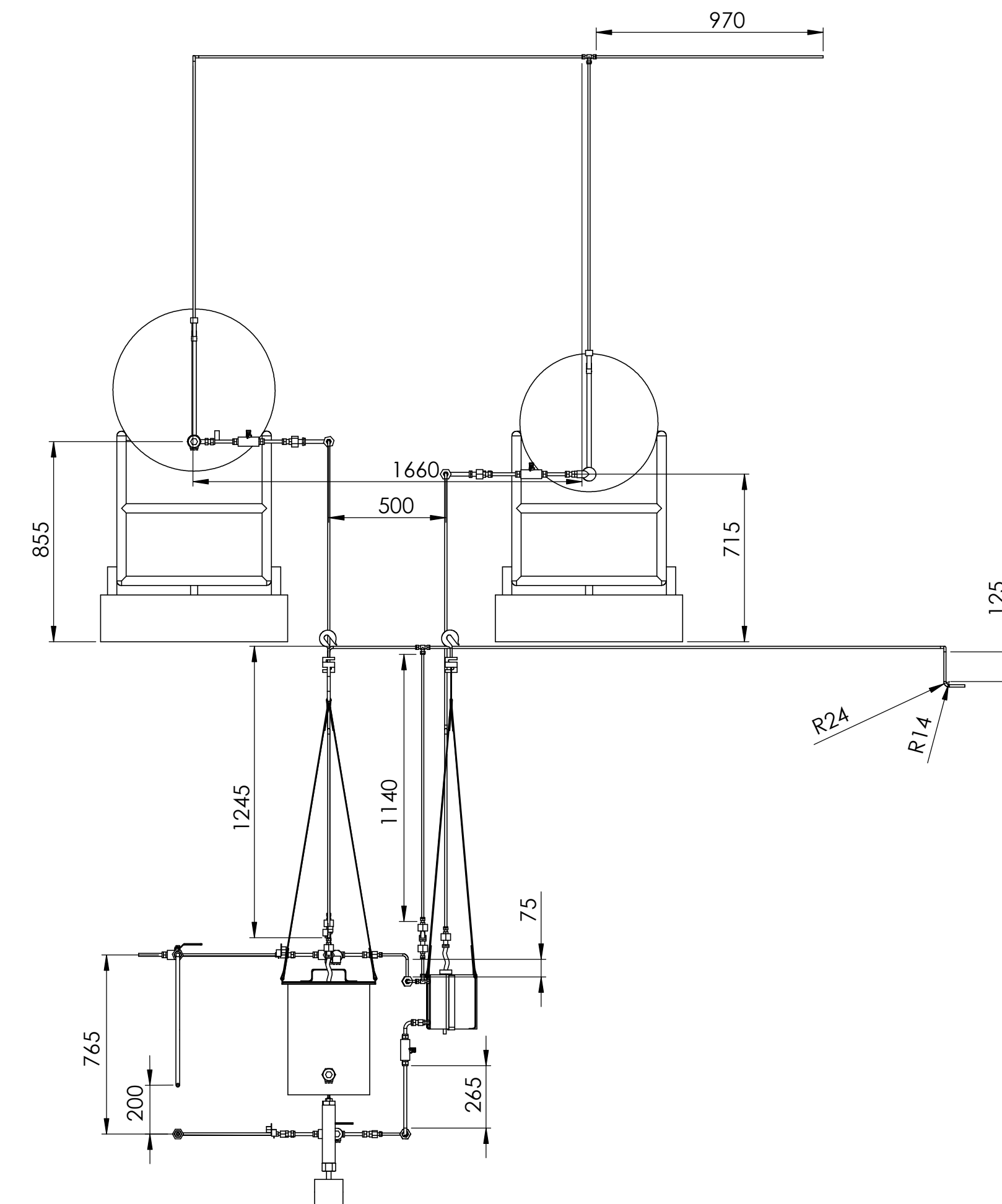
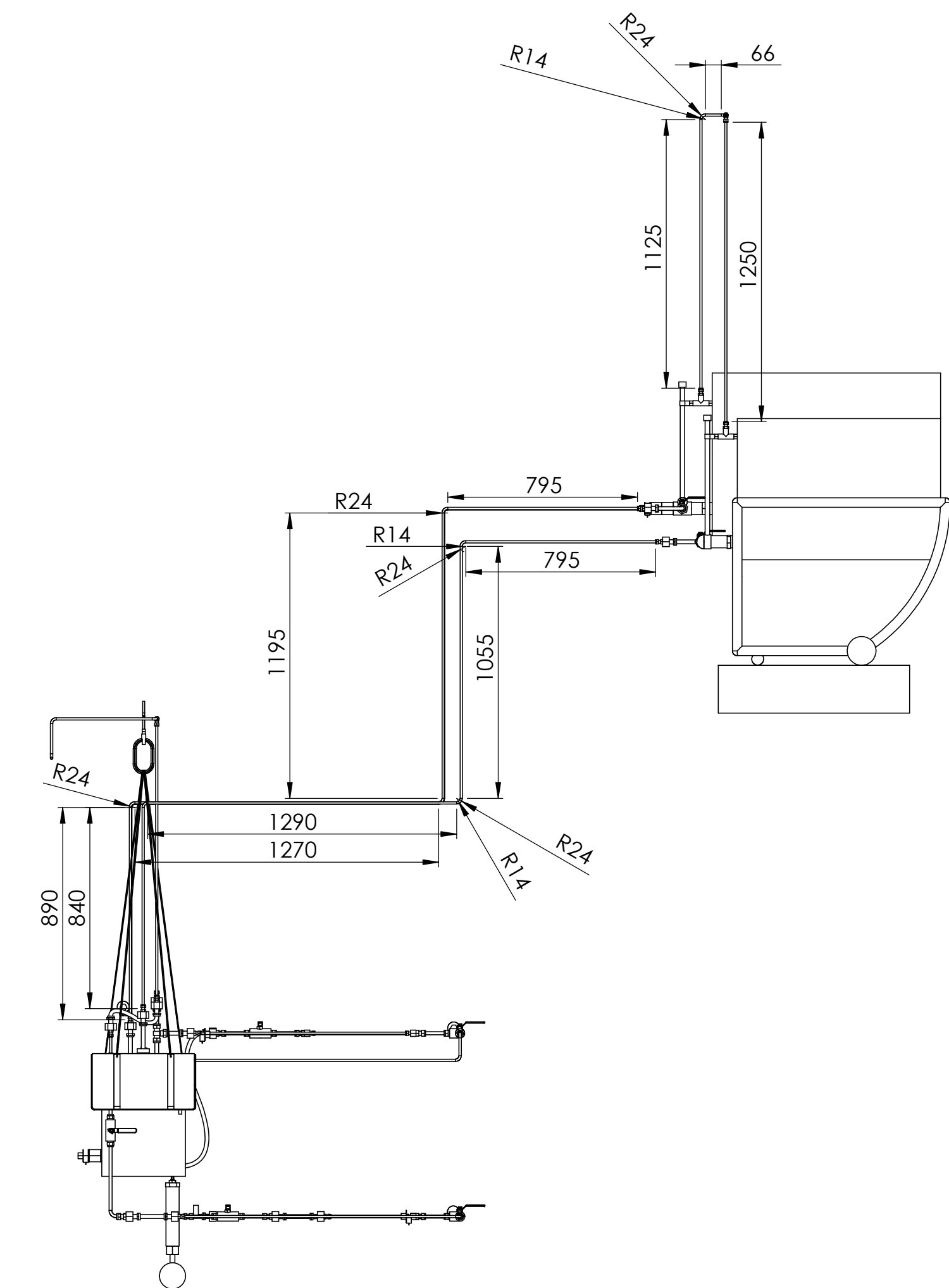
38



38	Suporte do tanque de serviço do HFO	1	Aço
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:7
Prof. Albino José Kalab Leiroz e Marcelo José Colaço		Projeto Final	UFRJ
			Unidade: mm



-	Base de suspensão do tanque de serviço do HFO	1	Aço
Peça	Denominação e Observações	Quant.	Materiais e dimensões
Thiago Torres Magalhães			1° Diedro
Conjunto: Unidade de Aquecimento de Combustível		Data: 01/11/2013	Escala: 1:6
Prof. Albino José Kalab Leiroz e Marcelo José Colaço		Projeto Final	UFRJ
			Unidade: mm



Item	Qtd.	Descrição	Fabricante/Fornecedor/Proprietário
1	2	Balança do tanque de armazenagem	Micheletti
2	2	Suporte do tanque de armazenagem	Redentor
3	6	Termostato	Asta
4	1	Resistência elétrica do tanque de armazenagem do HFO	Anluz
5	2	Tubo de acrílico	Acrílio
6	2	Tampão do tubo de acrílico	Tupy
7	2	Guia do tubo de acrílico	LMT
8	2	Conector macho de 3/8" com rosca NPT de 3/4"	Swagelok
9	2	Tê (3/4")	Tupy
10	4	Niple BET (3/4")	Tupy
11	1	Tanque de armazenagem do HFO com isolamento térmico (manta de fibra cerâmica e folhas de alumínio)	LMT (tanque de armazenagem), Support(manta de fibra cerâmica) e Votorantim Metais (Folhas de Alumínio)
12	2	Tê de redução (2" x 2" x 1/2")	Tupy
13	2	Transdutor de temperatura	Warne
14		Tubo rígido (3/8")	Cavallo Aços
15	2	Tê de união (3/8")	Swagelok
16	1	Tanque de armazenagem do LFO com isolamento térmico (manta de fibra cerâmica e folhas de alumínio)	LMT
17	2	Niple BET (2")	Tupy
18	1	Cotavelo de redução (2" x 1")	Tupy
19	2	Bucha de redução (1" x 1/2")	Tupy
20	7	Conector macho de 1/2" com rosca NPT de 1/2"	Swagelok
21	8	Niple BEP (1/2")	Cavallo Aços
22	4	Válvula esfera de duas vias com conexões Swagelok para tubos de 1/2"	Swagelok
23	14	Coenector fêmea de 5/8" com rosca NPT de 1/2"	Swagelok
24		Tubo flexível (5/8")	Eaton (Aeroquip)
25	11	Conector macho de 3/8" com rosca NPT de 1/2"	Swagelok
26	2	Válvula esfera de três vias com conexões Swagelok para tubos de 1/2"	Swagelok
27	1	Suporte do tanque de serviço do LFO	LMT
28	1	Tanque de serviço do LFO	Agrale
29	2	Niple BEP (3/8")	Cavallo Aços
30	1	Viscosímetro	Emmerson Process
31	1	Bucha de redução (2" x 1")	Tupy
32	1	Bucha de redução (1/2" x 3/8")	Tupy
33	1	Niple BET (3/8")	Tupy
34	1	Coenector fêmea de 1/2" com rosca NPT de 1/2"	Swagelok
35	1	Resistência elétrica do tanque de serviço do HFO	Anluz
36	1	Tanque de serviço do HFO	LMT
37	1	Tampa do tanque de serviço do HFO	LMT
38	1	Suporte do tanque de serviço do HFO	LMT
39	1	Tê de união (5/8")	Swagelok
40	2	Niple BEP (5/8")	Tupy
41	2	Célula de carga	Mkcontrole
42	2	Gancho	CableMAX
43		Resistor elétrico (tracing)	PanElétric

NOTA 1: O tanque de serviço do HFO deverá ser revestido com folhas de alumínio.

NOTA 2: Os condicionadores de sinais das células de carga não estão representados no desenho, pois sua localização não foi determinada na concepção do projeto.