



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Mecânica
Licenciatura em Engenharia Mecânica

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Fabricação de um tanque aéreo de combustível líquido de 30 m³

Autor: Nhanala, Yassine António

Supervisor da Faculdade:
Eng.º Arsénio Chadreque Maringule

Supervisor da Empresa:
Eng.º Popse Macaneta

Maputo, 20 de Julho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Mecânica
Licenciatura em Engenharia Mecânica

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Fabricação de um tanque aéreo de combustível líquido de 30 m³

Autor: Nhanala, Yassine António

Supervisor da Faculdade:
Eng.º Arsénio Chadreque Maringule

Supervisor da Empresa:
Eng.º Popse Macaneta

Maputo, 20 de Julho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia Mecânica

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Tema: Fabricação de um tanque aéreo de combustível líquido de $30 m^3$

Eu, Yassine António Nhanala estudante do 5º nível do curso de Engenharia Mecânica da faculdade de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, submeto este trabalho como requisito para a aquisição do grau de Licenciado em Engenharia Mecânica.

Aprovado por:

Eng.º Arsénio Chadreque Maringule, Supervisor da UEM

Membro de Júri 1

Membro de Júri 2

Membro de Júri 3

Maputo, Julho de 2022

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que este trabalho nunca foi apresentado para a obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu estágio profissional na empresa Belutécnica, S.A. Esta dissertação é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica, da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, 20 de Julho de 2022

(Yassine António Nhanala)



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIO
Departamento de Engenharia Mecânica

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante **Yassine António Nhanala**, cujo código de estudante é 20172348 entregou no dia ___/___/___ as ___ cópias do relatório de estágio profissional, intitulado Fabricação de um tanque aéreo de combustível líquido de 30 m^3 realizado na Fábrica da Belutécnica localizada no município de Boane, distrito da Matola, província de Maputo.

Maputo, 20 de Julho de 2022

A Chefe da Secretária

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradecer a Deus pelo dom da vida e por ter permitido que eu chegasse a essa etapa importante da minha vida.

Agradecer aos meus Pais pelo suporte durante a minha formação e pelo seu contributo directo e indirecto para que eu pudesse alcançar o sonho de me formar em Engenharia Mecânica.

Agradecer a Universidade Eduardo Mondlane em particular a Faculdade de Engenharia por ter criado condições para que o processo de ensino e aprendizagem decorresse da melhor forma possível.

Agradecer a todos os Professores e Engenheiros pelos conhecimentos passados de maneira amigável e gentil com vista a transformar-me num profissional de excelência e qualidade para os desafios que a sociedade apresenta.

Agradecer a todos os meus colegas pelo suporte em particular a turma de 2017 pela união e irmandade durante todo o tempo de formação.

Agradecer aos meus amigos por terem me apoiado a continuar em frente nos momentos difíceis.

Agradecer a empresa Belutécnica S.A por ter me permitido o estágio na sua renomada instituição onde aprendi muito em curto período de tempo.

Agradecer também ao Engenheiro Arsénio Chadreque Maringule por ter aceitado ser o meu supervisor no fim desta longa jornada.

Resumo

Face a necessidade de diminuir o tempo de resposta à solicitação de fornecimento de tanques de armazenamento de combustível, propõe-se a fabricação de um tanque aéreo de combustível líquido de maneira a responder o grau de qualidade exigida pelos utilizadores, dentro de normas internacionais de fabricação e armazenamento. Este trabalho consiste no dimensionamento de um tanque de combustível de 30 m³, definição dos processos de fabricação para os tanques de armazenamento, escolha do ensaio de qualidade das juntas soldadas de modo a garantir a estanquicidade das juntas soldadas, apos a união por soldadura de todos os componentes, e a método de protecção anticorrosiva para este tipo de estruturas.

Palavra chave: Tanque aéreo, combustível líquido, Fabricação.

Resume

In the face of the need to reduce the response time to the request for the supply of fuel storage tanks, it is proposed to manufacture an aerial tank of liquid fuel in order to respond to the degree of quality required by users, within international manufacturing standards. and storage. This work consists of the design of a 30 m³, fuel tank, definition of the manufacturing processes for the storage tanks, choice of the quality test of the welded joints in order to guarantee the watertightness of the welded joints, after the union by welding. of all components, and the corrosion protection method for this type of structures.

Keywords: Air tank, liquid fuel, Manufacturing.

Índice

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1. Introdução	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Formulação do problema.....	2
1.3. Justificativa.....	3
1.4. Metodologia.....	4
1.5. Objectivos.....	5
1.5.1. Objectivo Geral.....	5
1.5.2. Objectivos específicos	5
1.6. Apresentação da empresa	5
1.6.1. Princípios da Belutécnica	6
1.6.1.1. Missão	6
1.6.1.2. Visão	6
1.6.2. Valores	6
1.6.2.1. Excelência	6
1.6.2.2. Dano zero	6
1.6.2.3. Ética	6
1.6.2.4. Compromisso	6
1.7. Crença.....	6
Capítulo II: Revisão Bibliográfica	7

2. Revisão Bibliográfica.....	7
2.1. Combustíveis.....	7
2.2. Classificação de tipos principais de combustíveis	7
2.3. Tanques de armazenamento de combustível.....	7
2.3.1. Divisão dos tanques pelas faixas de pressão segundo a norma NBR 17505.....	8
2.3.2. Constituição dos tanques de armazenamento	8
2.3.3. Bocal de visita	9
2.3.4. Bocal de Ventilação.....	9
2.3.5. Bocal de abastecimento	10
2.3.6. Bocal de descarga	10
2.3.7. Bocal de verificação de nível de líquido	10
2.3.8. Classificação dos tanques de armazenamento	10
2.3.9. Em relação à forma os tanques podem ser:	10
2.3.10. Cilíndricos.....	10
2.3.11. Tanques de armazenamento de aço horizontal	10
2.3.12. Os tanques quanto à sua localização podem designar-se por:	11
2.3.13. Tanques Aéreos.....	11
2.3.14. Material para a fabricação de tanques de armazenamento de Combustível	11
2.3.15. Processo de fabricação de tanques de armazenamento de Combustível.....	12
2.3.16. Ensaio não destrutivo.....	12
2.3.17. Ensaio por ultrassom.....	13

CAPÍTULO III- DESENVOLVIMENTO	14
3. Desenvolvimento	14
3.1. Determinação das dimensões do tanque de armazenamento	14
3.1.1. Volume real do tanque.....	14
3.1.2. Cálculo do diâmetro do tanque e do comprimento do casco.....	14
3.1.3. Cálculo do comprimento do tanque.....	15
3.1.4. Cálculo da altura do tampo do tanque	15
3.1.5. Comprimento total do tanque	15
3.1.6. Esquema do tanque com as dimensões de gabarito.....	16
3.1.7. Dimensionamento dos tampos.....	16
3.2. Escolha de material para a fabricação do tanque de combustível.....	17
3.2.1. Material das Chapas.....	17
3.2.2. Composição química do aço A36.....	17
3.2.3. Carbono equivalente	17
3.2.4. Propriedades mecânicas do Aço 36.....	18
3.2.5. Material dos flanges.....	18
3.2.6. Material do eletrodo para soldadura	19
3.2.6.1. Vantagens do arame BME-C4	19
3.3. Determinação da espessura da chapa	20
3.4. Bocal de visita no teto	21
3.4.1. Bocais do tanque.....	22

3.4.2.	Flanges.....	23
3.5.	Cálculo de resistência do Tanque	24
3.5.1.	Suporte do tanque de armazenamento	24
3.5.2.	Parâmetros de operação dos tanques de armazenamento de combustível.....	29
3.5.3.	Teste Hidrostático.....	29
3.5.4.	Protecção anticorrosiva.....	30
3.6.	Processo de Fabricação	31
3.6.1.	Mão-de-obra	31
3.6.2.	Acabamento das bordas das chapas	32
3.6.3.	Corte	32
3.6.4.	Processo de Calandragem.....	33
3.6.5.	Processo de Rebordeamento	34
3.6.6.	Processo de Soldadura	35
3.6.7.	Vantagens da soldadura MAG.....	35
3.7.	Operação.....	35
3.8.	Inspeção.....	36
3.9.	Custo do tanque de combustível na empresa Belutécnica.....	36
3.9.1.	Custo de materiais	36
3.9.2.	O custo dos consumíveis	37
3.9.3.	Custo de homem-máquina	37
3.9.4.	Margem de lucro.....	38

3.9.5. Comparação do preço de fabricação na Belutécnica em relação ao preço de aquisição no mercado externo.....	38
3.10. Conclusão	39
3.11. Bibliografia.....	40
Anexo 1- Classificação dos tipos de combustíveis	41
Anexo 2- Esboço do bocal de visita.....	42
Anexo 3- Esboço do bocal de visita.....	43

Índice de Figuras

Figura 1-Esboço do tanque de combustível	9
Figura 2-Esboço do tanque, (fonte: Autor)	16
Figura 3-Dimensões dos tampos, Fonte:(Unitamos 2022)	16
Figura 4- Posicionamento dos apoios do tanque, (Fonte: AMANDA, 2015).....	24
Figura 5- Esboço do bocal de visita, (Fonte NBR 7821).....	42
Figura 6-Esboco do desenho do bocal de teto, (Fonte: NBR7821)	43

Lista de tabelas

Tabela 1-Grupo de tanques de armazenamento, (fonte: Oliveira, 2009).....	8
Tabela 2- Composição química do material, (Fonte:Val aço, 2022)	17
Tabela 3-Composição química do material das flanges (Fonte:Val aço, 2022)	18
Tabela 4-Composição química do arrame (Fonte: BAKAERT, 2022).....	19

Tabela 5- Espessura em função do diâmetro, (Fonte: API650)	20
Tabela 6-Sobresspessura em relação ao meio, (Fonte: NBR 7821).....	21
Tabela 7-Parâmetros do bocal de Visita, (Fonte NBR 7821)	22
Tabela 8-Parâmetros dos bocais de topo, (Fonte: NBR 7821).....	23
Tabela 9- Descrição da pintura primaria (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques)	31
Tabela 10- Descrição da pintura final (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques)	31
Tabela 11- Tintas e espessura da tinta (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques).....	31
Tabela 12- Parâmetros da mesa de corte por plasma, (Fonte: Belutécnica 2022)	32
Tabela 13-Parâmetros da Calandra, (Fonte: Belutécnica 2022)	33
Tabela 14- Preço dos materiais	36
Tabela 15-Custo dos consumíveis	37
Tabela 16-Classificação de tipos principais de combustíveis, (Fonte: BIZZO 2003)	41

Lista de símbolos

- CO_2 – Dióxido de carbono
- H_2O – Água
- C – Carbono
- H – Hidrogênio
- N – Nitrogênio
- S – Sulfato
- API – American petroleum international
- CE – Carbono equivalente
- Mn – Manganês
- Si – silício
- Cr – Cromo
- Mo – Molibdenio
- V – Vanádio
- Ni – Níquel
- Cu – Cobre
- $ASME$ – Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos
- P – Força de dobragem
- PAC – Corte por plasma
- END – Ensaio não destrutivo
- D – Diâmetro
- H – Altura
- R – Raio
- V_r – Volume real
- V_u – Volume de utilização
- $ASTMA$ – Sociedade Americana de Testes e Materiais
- h_2 – Altura do tanque
- e – Espessura

Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado por capítulos, o trabalho está dividido em quatro capítulos apresentados abaixo:

Capítulo I: Introdução

Neste capítulo fazem parte a contextualização do tema escolhido, a formulação do problema, a justificativa, o objectivo do trabalho, e a metodologia usada para realização do trabalho e uma breve apresentação da empresa.

Capítulo II: Revisão Bibliográfica

Neste capítulo de revisão bibliográfica serão trazidos todos os princípios científicos que sustentarão o trabalho.

Capítulo III: Desenvolvimento do trabalho

Neste capítulo serão feitos o dimensionamento, o processo de fabricação e a inspeção do cordão de soldadura de toda a estrutura.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1. Introdução

1.1. Contextualização

O relatório de estágio profissional foi realizado no âmbito da culminação de engenharia mecânica na empresa Belutécnica S.A localizada na Província de Maputo, no distrito de Boane cujo seu principal ramo de atuação é a metalomecânica, com a finalidade de fabricação de um tanque de combustível aéreo para o armazenamento de combustível líquido.

No âmbito de resposta a solicitação dos clientes, a Belutécnica S.A, notou a necessidade de se fazer um trabalho de pesquisa para a fabricação de tanques de combustível tendo em conta as normas vigentes atualmente.

O presente trabalho consiste em fazer uma abordagem construtiva dos tanques de armazenamento horizontais, definindo o material adequado para a fabricação, a espessura ideal do material escolhido, a disposição do tanque, todos os fatores construtivos para o armazenamento seguro dos combustíveis, aspectos que são observados no capítulo III no qual se fala do dimensionamento, processo de fabricação, ensaio não destrutivo e sobre a protecção anticorrosiva dos tanques de combustível horizontais.

1.2. Formulação do problema

Face a procura pelos clientes da Belutécnica S.A, por tanques de armazenamento de combustíveis e pelo crescimento rápido das indústrias petrolíferas, a empresa deparou-se com seguinte problema:

Elevado tempo de resposta à solicitação de fabricação de tanques de combustível devido a falta de informações referentes ao dimensionamento e processos de fabricação na área de fabricação de tanques de combustível.

1.3. Justificativa

Face a formulação do problema acima mencionado, este trabalho é feito com o intuito a responder a demanda da procura dos tanques de armazenamento de combustíveis na empresa Belutécnica S.A.

A necessidade da empresa em ter na sua base de dados um trabalho científico referente a fabricação de tanques aéreos de combustíveis líquido que será usado como base para a construção de tanques de armazenamento impulsionou a realização deste trabalho.

Com vista a diminuir o tempo de resposta e oferecer produtos de qualidade e padronizar as operações de fabricação de tanques na empresa Belutécnica elaborou-se o presente trabalho abordando sobre a fabricação dos tanques, que consiste no dimensionamento, processo de fabricação, ensaio não destrutivo, e posterior protecção anticorrosiva.

1.4. Metodologia

O relatório de estágio profissional foi realizado na empresa Belutécnica, por meio de pesquisas e levantamento de diversas fontes.

Para se atingirem os resultados previstos o relatório baseia-se na pesquisa bibliográfica e documental, onde são feitos vários levantamentos de diversos autores no que concerne a fabricação de tanques de combustíveis por meio de manuais didáticos, científicos, pesquisas em sites da internet, normas e tabelas.

Foram feitas também consultas aos engenheiros da empresa Belutécnica, consultas ao supervisor da faculdade de engenharia e aos técnicos que operam na fabricação de diversos componentes mecânicos.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

- Consolidar os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante a formação no curso de engenharia mecânica.

1.5.2. Objectivos específicos

- Dimensionar um tanque aéreo de combustível líquido de 30 m³ ;
- Escolher o processo fabricação para a obtenção de um tanque aéreo de combustível;
- Efectuar o ensaio não destrutivo de um tanque aéreo de combustível líquido.

1.6. Apresentação da empresa

A Belutécnica, S.A. é uma empresa metalomecânica localizada em Boane, província de Maputo, com vasto conhecimento associado a sua actividades nas seguintes área de atuação.

- Manutenção Mecânica Industrial;
- Tubulação Mecânica;
- Sistemas Mecânicos e Vasos de Pressão;
- Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas ;
- Serviços Refratários.

A Belutécnica desenvolve a sua actividade em todo o território nacional, prestando serviços á vários clientes públicos e privados.

A Belutécnica, S.A. e uma empresa com maior percentagem (95%) Moçambicana criada em 2013 após a aquisição do portfólio de actividades de manutenção industrial da Agro Alfa, ex-líder industrial privatizado em 1997.

O portfólio era composto por contratos de longo prazo no valor de mais 5 milhões de dólares Americanos e capital humano com mais de 15 anos de experiência nacional e internacional nas indústrias de fundição de alumínio, petróleo e gás, mineração e construção. De 2013 até hoje, a Belutécnica conseguiu aumentar significativamente esse portfólio para mais 13 milhões de

dólares, o que permitiu à empresa investir fortemente na capacitação da engenharia e do intelecto gerencial, bem como em infraestrutura de produção.

1.6.1. Princípios da Belutécnica

1.6.1.1. Missão

Prestar serviços de Engenharia com as seguintes áreas e atuação: Desenho, fabricação e instalação de estruturas metálicas; construção e instalação de vasos de pressão; edificação de revestimentos refratários e de Manutenção Industrial, acrescentando valor ao negócio de cada cliente, apostando no nosso capital humano e na inovação tecnológica.

1.6.1.2. Visão

Ser uma referência e inspiração nacional e regional, nas cadeias de valor onde actuamos, através da nossa excelência empresarial.

1.6.2. Valores

1.6.2.1. Excelência

Aspiramos ser a melhor escolha da nossa indústria, tanto para os clientes que servimos como para os profissionais que formam o nosso capital humano, para os nossos fornecedores que nos servem e, para a comunidade que nos escolhe.

1.6.2.2. Dano zero

Nossa meta é zero dano, ao homem e ao ambiente. Nenhum lucro altera este compromisso.

1.6.2.3. Ética

A Ética é inegociável para nós. Actuamos com os mais altos padrões éticos e transparência.

1.6.2.4. Compromisso

Somos comprometidos em todas as nossas actividades, esta atitude reflete-se significativamente no nosso dia a dia, influenciando na postura dos nossos profissionais, na qualidade dos serviços e produtos

1.7. Crença

Somos donos do nosso destino. Cremos absolutamente no nosso esforço, inovação, coesão, inclusão e perseverança, como ferramentas infalíveis do nosso sucesso. Cremos num ambiente inclusivo de trabalho e no respeito pelas ideias de cada, como a nossa maior virtude.

Capítulo II: Revisão Bibliográfica

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Combustíveis

Após consulta a vários autores, compreende-se por:

Combustível como toda a substância capaz de reagir quimicamente com um comburente após a ignição por uma fonte externa por meio de admissão de calor produzindo uma reação exotérmica de queima havendo libertação de calor.

2.2. Classificação de tipos principais de combustíveis

A classificação dos combustíveis é feita segundo o estado físico e a derivação do combustível, os combustíveis segundo o seu estado físico podem ser sólidos, líquidos e gasosos e segundo a sua derivação podem ser naturais e artificiais como e mostrado na tabela do anexo 1.

2.3. Tanques de armazenamento de combustível

Tanque de armazenamento, também designado por reservatório é um recipiente destinado a armazenar fluidos à pressão atmosférica e a pressões superiores à atmosférica. São fundamentais para permitir boa flexibilidade para as operações e garantir a continuidade de qualquer unidade de processamento. Neles são armazenadas as cargas para as unidades de processo e seus derivados (OLIVEIRA, 2009).

Tanques de armazenamento são equipamentos estáticos de caldeiraria pesada, sujeitos à pressão próxima à atmosférica e, na maioria das vezes, destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados. Eles são uma divisão de vasos de armazenamento (não pressurizados). Os vasos de armazenamento com pressões baixas são denominados tanques de baixa pressão, e os de alta pressão são denominados vasos de pressão (BARROS, 2014).

Os tanques de armazenamento de combustível são construídos de acordo com os requisitos definidos pela norma americana API 650. Estes tanques podem ter dimensões variadas, com diâmetros superiores a 2 metros.

É de extrema importância realizarem-se, de forma regular e periódica, a verificação e limpeza das estruturas e equipamentos utilizados para armazenar os produtos. Desta forma, garante-se que as características dos produtos não se alteram, bem como, evitar-se ou amenizar-se

a possibilidade de contaminação do meio ambiente por degradação dos tanques (LINDENBERG, 2008).

2.3.1. Divisão dos tanques pelas faixas de pressão segundo a norma NBR 17505

O armazenamento do combustível pode ser potencialmente perigoso, a melhor prática do armazenamento dos combustíveis é em tanques cilíndricos de aço macio, acima ou abaixo do solo com as seguintes faixas de pressão:

Tabela 1-Grupo de tanques de armazenamento, (fonte: Oliveira, 2009)

Tanques Atmosféricos	Pressão de operação de até 6.9kPa (1psig)
Tanques de baixa pressão	Pressão de operação entre 6.9 e 103,45 kPa (15psig)
Vasos de pressão	Pressão de operação acima de 103.45kPa (15Psig)

2.3.2. Constituição dos tanques de armazenamento

Os tanques de armazenamento horizontais são compostos basicamente por duas partes principais, os tampos e o casco.

O casco possui forma cilíndrica e é a parte que dá forma ao tanque ocupando maior volume do mesmo.

Os tampos são peças de fechamento do tanque, cujos formatos mais usuais são: semi-elíptico, toroesférico, semi-esférico, difusor, toricônico, cônico e plano. Abaixo apresenta-se o esboço de um tanque de armazenamento:

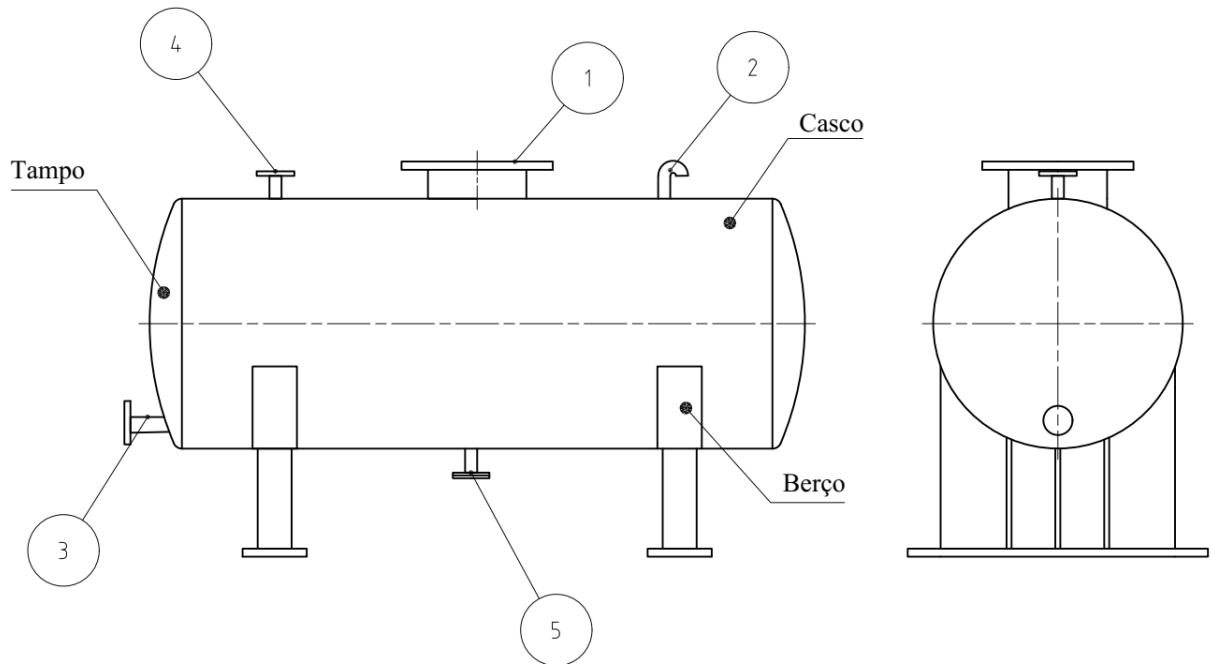


Figura 1-Esboço do tanque de combustível

Legenda:

- 1- Bocal de visita;
- 2- Bocal de ventilação;
- 3- Bocal de abastecimento;
- 4- Bocal de verificação de nível de líquido;
- 5- Bocal de descarga.

2.3.3. Bocal de visita

É uma abertura em um tanque para o enchimento, limpeza, inspeção e manutenção. É uma abertura na parte superior do tanque com uma tampa que pode ser travada.

2.3.4. Bocal de Ventilação

O bocal de ventilação está localizado na parte superior do tanque para liberar o ar e gases formados pelo fluido armazenado. Os gases são removidos através de tubos de ventilação no

momento do reabastecimento do combustível no tanque. A abertura dos tubos de ventilação deve estar voltada para baixo para evitar que qualquer objecto indesejado entre no tanque.

2.3.5. Bocal de abastecimento

Orifício localizado no tampo do tanque, usado para o abastecimento. Deve estar localizado de modo que seja aproveitado maior parte do fluido contido no tanque sem permitir a passagem de impurezas. O bocal deve estar idealmente acima de quatro a seis polegadas da parte inferior.

2.3.6. Bocal de descarga

Está localizado no fundo do tanque para remover todo fluido remanescente do tanque, os depósitos residuais durante a limpeza do tanque.

2.3.7. Bocal de verificação de nível de líquido

Orifício na parte superior do tanque por onde insere-se uma vareta ou haste que indica a quantidade de combustível armazenada dentro do tanque. Estes são os componentes básicos de um tanque de armazenamento de combustível.

2.3.8. Classificação dos tanques de armazenamento

Os tanques podem ser classificados de variadas maneiras. Sendo que o trabalho aborda sobre a fabricação de um tanque horizontal e aéreo, a classificação centra-se no objectivo especificado.

2.3.9. Em relação à forma os tanques podem ser:

2.3.10. Cilíndricos

São todos aqueles cujo formato tem a forma cilíndrica, ou seja, corpo longo e arredondado de igual diâmetro em todo o comprimento. Estes podem ser verticais ou horizontais (LINDENBERG, 2008).

2.3.11. Tanques de armazenamento de aço horizontal

Tanque de armazenamento horizontal é usado para armazenar petróleo bruto, óleo vegetal, solventes químicos, água ou outros derivados de petróleo. O tanque horizontal é composto por tampos nas extremidades, uma parede de tanque circular horizontal e uma sela, como mostra a figura 1 que geralmente são usadas no processo de produção ou posto de gasolina. Geralmente é dividido em formas redondas, ovais e outras irregulares. A capacidade dos tanques de óleo de aço

horizontais é geralmente inferior a 50 m³, pode armazenar gasolina e derivados de petróleo voláteis.

2.3.12. Os tanques quanto à sua localização podem designar-se por:

2.3.13. Tanques Aéreos

Os tanques de armazenamento aéreos são aqueles cujo a sua fabricação é prevista para a montagem acima do solo, apoiada por meio de apoios.

2.3.14. Material para a fabricação de tanques de armazenamento de Combustível

O tanque de armazenamento aéreo são destinados à instalação estacionária, com capacidade líquida superior a 450 L, para armazenamento de líquidos inflamáveis ou combustíveis.

As propriedades cruciais para um material ser usado na fabricação do tanque de combustível, são propriedades mecânicas adequadas ao uso, resistência à corrosão e preço competitivo.

Em relação às propriedades mecânicas, o material deve possuir boa soldabilidade e deformabilidade. No que diz respeito à resistência à corrosão, a superfície interna do reservatório do tanque deve resistir ao meio combustível, como por exemplo, gasolina, etanol, diesel e biodiesel. A superfície externa deve resistir ao meio atmosférico e a eventuais defeitos na superfície, como arranhões provocados por batidas de pedras (Alvarado, 1996).

Os tanques para o armazenamento de combustível são fabricados de aço maciço, laminado a quente de qualidade comercial. A escolha do material será feita atendendo as normas da ASTM. Mais importante para o aço, seja ele certificado ASTM, ou qualidade comercial, é o carbono ou carbono conteúdo de equivalência. O teor de carbono do aço não deve exceder 0,3 por cento. Além disso, o a equivalência de carbono não deve exceder 0,53 por cento. Para calcular a equivalência de carbono (CE) do aço, use a seguinte fórmula:

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\%] \quad (1)$$

Quantidades aumentadas de carbono reduzem a soldabilidade do aço e aumentam a dureza e a tração resistência, o que pode tornar o aço difícil de trabalhar.

2.3.15. Processo de fabricação de tanques de armazenamento de Combustível

Os tanques de combustível metálicos são fabricados a partir de chapas planas de aço de baixo carbono, laminadas a quente. O processo para a fabricação pode ser resumido em seis etapas distintas: Calandragem, Dobragem (Embutidura), corte, Soldagem dos componentes do tanque de combustível, pintura, montagem dos componentes e testes de verificação contra vazamentos (Suzuki, 2007).

Os processos de fabricação são abordados no capítulo III, especificando as máquinas ferramentas que serão usadas para cada operação, com vista a obter-se a geometria desejada. A fabricação dos tanques de combustível deve obedecer a norma americana API 650, pois esta garante qualidade e segurança afim da fabricação do tanque.

2.3.16. Ensaio não destrutivo

Ensaio não destrutivo, por definição é o nome que se dá ao processo de avaliação aplicado à componentes, peças ou estruturas para verificar a sua integridade, sem modificar suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, de tal maneira que ela não seja danificada e que sua capacidade para operar ou cumprir sua função não seja comprometida, nem mesmo alterada. Os Ensaio não destrutivos, também conhecidos pela sigla “END” ou “NDT” do inglês para “Non Destructive Test”, são testes que podem ser realizados em diferentes etapas do processo de fabricação ou manutenção, por meio de práticas de inspeção utilizadas para o controle de qualidade (ANDREUCCI, 2011).

Os ensaios destrutivos são testes que buscam garantir e verificar a qualidade e integridade de materiais. Neste caso, aplicados à componentes industriais. As principais aplicações dos ensaios não destrutivos podem ser encontradas em diversos segmentos industriais como: automotivo, óleo e gás, aeroespacial, ferroviário, nuclear, dentre vários outros, sendo amplamente utilizados para verificar a qualidade nas inspeções de solda e para garantir a integridade em materiais fundidos, forjados, laminados, extrudados, assim como em outros tipos de materiais.

Para o presente projecto será usado o ensaio ultrassónico para a detecção de descontinuidades e fissuras das juntas soldadas.

2.3.17. Ensaio por ultrassom

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos e não ferrosos (ANDREUCCI, 2011). Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a ser examinado como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros. Portanto, o ensaio não destrutivo por ultrassom, assim como todo ensaio não destrutivo visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças de responsabilidade e o desperdício de peças utilizadas em ensaios destrutivos (ANDREUCCI, 2011).

CAPÍTULO III- DESENVOLVIMENTO

3. Desenvolvimento

3.1. Determinação das dimensões do tanque de armazenamento

Pretende-se determinar o diâmetro e o comprimento máximo de um tanque de armazenamento de combustível de 30m³.

Para o presente trabalho escolhe-se os tampos toroesféricos pois são mais fáceis de fabricar, tampo toroesférico é constituído por uma calota central esférica e por uma secção toroidal de concordância, de raio r . Como a “American Society of Mechanical Engineers” (ASME, 1998), secção VIII, exige para o raio r o valor mínimo de 6 %, foi adotado neste trabalho o valor de r igual a 10% do diâmetro.

3.1.1. Volume real do tanque

Considerando que o volume real é obtido do volume útil acrescido de 10%, então tem-se:

$$V_R = 1.1 * V_u \quad [m^3] \quad (2)$$

$$V_R = 1.1 * 30 = 33 m^3$$

onde:

$V_u = 30 m^3$ – é o volume útil do tanque fornecido na especificação do projeto.

V_R – é o volume real do tanque calculado.

3.1.2. Cálculo do diâmetro do tanque e do comprimento do casco

Segundo a ASME, 1998 para o cálculo do diâmetro do tanque usa-se a equação do volume real que relaciona o diâmetro.

$$V_R = 0.785 * L * D^2 + 1.0472 * D^2 * H_T \quad [m^3] \quad (3)$$

Onde:

L – Comprimento do casco;

D – Diâmetro do tanque;

H_T – altura do tampo.

A altura do tampo, H_T será definido pelas equações abaixo para tampos toroesféricos:

$$H_T = 0.194 * D + H_s \quad [m] \quad (4)$$

A partir das equações acima obtém-se equações que são em função do diâmetro de modo a calcular o diâmetro.

$$2.01 * D^3 + 0.021 * D^2 - 1.1 * V_u = 0$$

$$2.01 * D^3 + 0.021 * D^2 - 1.1 * 30 = 0$$

$$D = 2.45m$$

Por questões construtivas escolhe-se um diâmetro de 2.5m, com vista a facilitar a fabricação.

3.1.3. Cálculo do comprimento do tanque

Para o cálculo do comprimento, segundo Bednar 1994, recomenda:

$$L = 2.3 * D \quad [m] \quad (5)$$

$$L = 2.3 * 2.5 = 5.75m$$

Para facilitar a fabricação escolheu-se o comprimento do cascado de 5.8m.

3.1.4. Cálculo da altura do tampo do tanque

A altura do tampo calcula-se tendo em conta que os tampos serão toroesféricos:

$$H_T = 0.194 * D + H_s \quad [m] \quad (6)$$

$$H_T = 0.194 * 2.5 + 0.020 = 0.355m$$

Onde:

H_s – é a altura da parte reta do tampo.

H_s é a altura da parte reta, ou saia, exigida pela norma ASME (1998). A parte reta é uma pequena seção cilíndrica incorporada ao tampo estabelecendo uma certa distância entre a linha de tangência e a linha de solda. Esta seção evita uma distribuição irregular e concentração de tensões na região de transição de formato.

Adota-se o valor 0,020 m para a altura da parte reta dos tampos, obtém-se respectivamente, para tampos toroesféricos. Por questões construtivas escolhe-se uma altura do tampo de 0.36m.

3.1.5. Comprimento total do tanque

Segundo a ASME, 1998 o comprimento total do tanque é dado por:

$$H = L + 2H_T \quad [m] \quad (7)$$

$$H = 5.8 + 2 * 0.36 = 6.5m$$

3.1.6. Esquema do tanque com as dimensões de gabarito

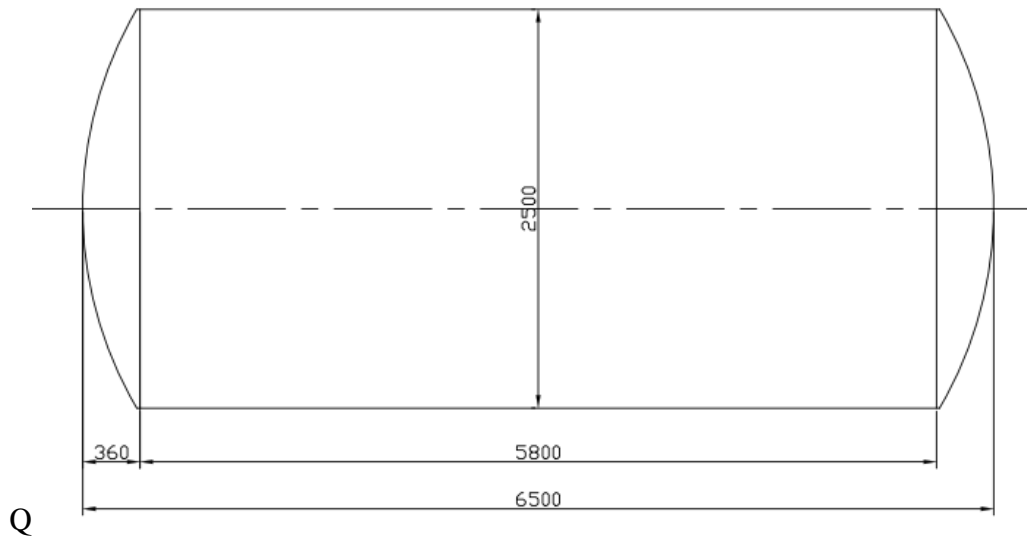


Figura 2-Esboço do tanque, (fonte: Autor)

3.1.7. Dimensionamento dos tampos

Serão usados no presente projecto tampos toro esféricos para as laterais do tanque que serão obtidos por meio de conformação mecânica (prensagem).

Segundo Unitampos, 2022 as dimensões dos tampos tendo em conta o diâmetro externo são apresentadas abaixo:

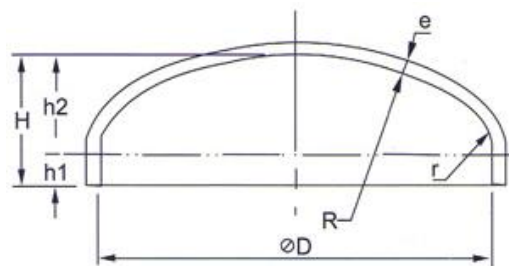


Figura 3-Dimensões dos tampos, Fonte:(Unitampos 2022)

As dimensões do projecto são:

- $\varepsilon = 6.35mm$;
- $H = 360mm$;
- $D = 2487mm$;
- $h_1 = 20mm$;

- $h_2 = 340mm$;
- $r = 82mm$;
- $R = 2487mm$.

3.2. Escolha de material para a fabricação do tanque de combustível

3.2.1. Material das Chapas

Escolheu-se um material de acordo com as especificações da ASTM, o Aço A-36, visto que o aço A36 é um aço carbono de qualidade estrutural. Possui alta resistência mecânica, boa conformabilidade e excelentes propriedades de soldagem, essas propriedades o tornam adequado para uma ampla variedade de aplicações, incluindo soldagem, fabricação e dobra.

A36 é um aço de baixo carbono. Aços de baixo carbono são classificados por terem menos de 0,3% de carbono por peso. Isso permite que o aço A36 seja facilmente usinado, soldado e conformado, tornando-o extremamente útil como um aço de uso geral. O baixo teor de carbono também evita que o tratamento térmico tenha muito efeito no aço A36. Essa liga geralmente contém pequenas quantidades de outros elementos, incluindo manganês, enxofre, fósforo e silício. Esses elementos de liga são adicionados para dar ao aço A36 as propriedades químicas e mecânicas desejadas.

3.2.2. Composição química do aço A36

Tabela 2- Composição química do material, (Fonte:Val aço, 2022)

Elemento	Carbono (C)	Cobre (Cu)	Ferro (Fe)	Manganes (Mg)	Fósforo (P)	Silício (Si)	Enxofre (S)
Concentração %	0.25-0.29	0.20	0.98	1.03	0.040	0.280	0.050

3.2.3. Carbono equivalente

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\%] \quad (8)$$

$$CE = 0.27 + \frac{1.03 + 0.28}{6} + 0 + 0.2/15$$

$$CE = 0.5\%$$

O carbono equivalente não excede o valor de 0.53%, sendo um material com boa soldabilidade, logo pode-se usar o material escolhido.

3.2.4. Propriedades mecânicas do Aço 36

- Limite de elasticidade mínima - 250MPa;
- Tensão de ruptura mínima - 400MPa;
- Tensão admissível para condições de projeto (MPa)-160 MPa;
- Tensão de teste hidráulico S_t (MPa)-171MPa;
- Coeficiente de Poisson (μ) igual a 0,30;
- Densidade (γ) de 77.000 N/mm³;

Serão usadas chapas de dimensões de 2500x1200mm como matéria prima para a obtenção do tanque, visto que apresentam maior facilidade na sua aquisição.

3.2.5. Material dos flanges

Flanges são peças especiais que se destinam a fazer a ligação entre tubos, conexões, válvulas, acessórios e equipamentos e entre tubos, onde se deseja uma montagem ou desmontagem rápida ou frequente. Cada ligação por Flanges necessita de um jogo de parafusos e uma junta de vedação. São ligações empregadas em todos os diâmetros para tubos de ferro fundido, aço carbono, aço liga, aço inox, plásticos e também em válvulas e acessórios de materiais não ferrosos (Val aço, 2022).

Para a escolha do material dos flanges de bocais ligados a qualquer tubulação, deve-se observar às exigências da especificação ASTM A 181.

ASTM A181 grau 1 é uma especificação de material para componentes de tubulação forjados fora do padrão de aço carbono, como flanges, conexões de tubos, anéis, componentes de válvulas, barras redondas e muitas outras peças forjadas, usadas para aplicações de tubulação industrial. Sua especificação abrange duas classes, ou seja, ASTM A181 classe 60 cuja a composição química e dada abaixo:

Tabela 3-Composição química do material das flanges (Fonte:Val aço, 2022)

Carbono	Enxofre	Fosforo	Manganês	Silício
0.35	0.055	0.055	0.9	0.35

3.2.6. Material do eletrodo para soldadura

Para a soldadura das chapas e dos bocais escolhe-se um metal de adição com propriedades similares ao metal de base, para a soldagem de materiais com uma força de ruptura mínima inferior a 550 MPa (80 kpsi) a escolha do eletrodo deve obedecer ao E60 e classificação da série E70 (adequado para as características da corrente elétrica, a posição de soldagem, e outras condições de utilização prevista) em AWS A5.1 e devem estar em conformidade com, conforme aplicável.

Para a soldagem das ligações escolheu-se a partir do catálogo da Belgo Bakaert Arames o arame: BME-C4, da norma AWS A5.18 / ASME SFA5.18 ER70S-6 cujo as aplicações são as seguintes: Soldagem de chapas finas (Tubos e estampados em geral) e chapas grossas (Máquinas pesadas, vasos de pressão, estruturas soldadas, construção naval).

É indicado para materiais cujo a faixa de composição química (%):

Tabela 4-Composição química do arame (Fonte: BAKAERT, 2022)

C (Carbono)	Si (Silício)	Mn (Manganês)	P (Fosforo)	S (Enxofre)	Cu (Cobre)
0.06-0.15	0.8 a 1.15	1.4 a 1.85	0.025 max.	0.035 max.	0.5 max.

3.2.6.1. Vantagens do arame BME-C4

O BME-C4 é um arame sólido com boa fluidez da poça de fusão. Quando é usado na transferência por curto-circuito, o BME-C4 apresenta grande eficiência de deposição e permite a soldagem com alta penetração e em todas as posições. O elevado teor de manganês e silício proporciona excelente desoxidação do metal de solda nas aplicações em superfícies com moderada oxidação superficial. O resultado são cordões com bom acabamento, ótimas propriedades mecânicas, baixo nível de respingos e junta de excelente sanidade radiográfica. Será usado um gás de protecção do metal de adição durante o processo de soldagem, visto tratar-se de soldagem de um material ferroso usa-se como gás de protecção o dióxido de carbono (CO₂), pois são eventualmente necessários para estabilização do arco, melhoramento da fluidez e também melhora da qualidade do metal depositado.

3.3. Determinação da espessura da chapa

A espessura das chapas do casco deve obedecer a seguinte condição, espessura mínima dada a seguir, em função do diâmetro do tanque.

Tabela 5- Espessura em função do diâmetro, (Fonte: API650)

Diâmetro nominal do tanque D(m)	Espessura nominal mínima
D < 15	4.5
15 < D < 35	6.3
35 < D < 60	8.0
60 < D	9.0

Segundo Telles 1996, a espessura da chapa de um tanque deve atender a espessura mínima para garantir a sua estabilidade estrutural e deve resistir à pressão interna. A espessura de resistência estrutural, garante a montagem do tanque e evita um colapso pelo próprio peso ou por ação do vento. Souza & Razuk 1996, sugerem para determinação desta espessura, em milímetros, para o aço-carbono, a expressão:

Com adição da sobresspessura devido a corrosão:

$$\varepsilon = 2.5 + D + S_c \quad [m] \quad (9)$$

$$\varepsilon = 2.5 + 2.5 + 1.5$$

$$\varepsilon = 6.5 \text{ mm}$$

Sem acrescentar uma sobresspessura de corrosão:

$$\varepsilon = 2.5 + D \quad [m] \quad (10)$$

$$\varepsilon = 2.5 + 2.5$$

$$\varepsilon = 5 \text{ mm}$$

A sobresspessura para corrosão, S_c , é um acréscimo de espessura, que se aplica ao aço-carbono, destinado a ser consumido pela corrosão ao longo da vida útil prevista para o tanque. Na prática, adotam-se para a sobresspessura os valores apresentados na tabela abaixo:

Tabela 6-Sobresspessura em relação ao meio, (Fonte: NBR 7821)

Meio	Sobresspessura (mm)
Pouco corrosivo	1.5
Medianamente corrosivo (normal)	3
Muito corrosivo	4 a 6

Escolhe para a sobresspessura para corrosão o valor de 1.5 pois o tanque irá ser instalado num ambiente pouco corrosivo e estará revestido de uma pintura protetora.

A espessura mínima das chapas do casco não deve ser inferior a um valor mínimo estrutural fixado por norma na tabela 5, essa espessura mínima é baseada em requisitos de montagem. Portanto, não é necessário acrescentar uma sobresspessura de corrosão a este valor mínimo. (BARROS, 2014)

Para a fabricação escolhe-se uma chapa de espessura de 6mm, pois o diâmetro do projecto e muito menor ao diâmetro limite normalizado, podendo de tal maneira a chapa resistir.

3.4. Bocal de visita no teto

As bocas de vista são aberturas feitas no casco do vaso onde é soldado um pescoço de tubo ou chapa calandrada com um flange em sua extremidade onde é parafusada uma tampa removível, permitindo assim o acesso de pessoas para a inspeção, limpeza, manutenção, montagem e remoção de peças internas.

As bocas de visita são usadas para a execução de trabalhos de manutenção, com o tanque em serviço. Recomenda-se que a estrutura do teto seja convenientemente reforçada nas proximidades da boca de visita. O esboço do bocal de visita e mostrado no anexo 2, indicando todas especificações normalizadas para a sua fabricação.

Para a construção do bocal de visita e da tampa foram escolhe-se com base no diâmetro externo do tanque, tendo sido escolhido os seguintes parâmetros abaixo:

Tabela 7-Parâmetros do bocal de Visita, (Fonte NBR 7821)

Tamanho do bocal de visita (mm)	Diâmetro do pescoço (mm)	Diâmetro da tampa (mm)	Diâmetro do circuito dos parafusos (mm)	Número de parafusos
20	508	660	597	16

Escolhe-se um bocal de visita de tamanho 20 pois trata-se de um tanque de dimensões medias de diâmetro menor que 7.5 m e estará localizado no centro do tanque.

A construção dessas bocas de visita é a mesma de um bocal flangeado de grande diâmetro, sendo necessária uma tampa plana aparafusada.

3.4.1. Bocais do tanque

Segundo Ghanbari; et al, 2011, um bocal é um componente cilíndrico que penetra no casco ou nos tampos do tanque. As extremidades são geralmente flangeadas para permitir as ligações necessárias e para a fácil desmontagem para manutenção ou acesso.

Os bocais são usados para as seguintes aplicações:

- Conectar a tubulação para entrada ou saída de fluxo.
- Ligar conexões de instrumentos (medidores de nível, termômetros, manômetros e etc.).
- Fornecer acesso ao interior do vaso em aberturas de inspeção.
- Fornecer conexão direta para outros equipamentos ou itens.

Para os bocais de teto nomeadamente o bocal de ventilação, bocal de verificação do nível de líquido, devem estar de acordo com a norma NBR7821, são apresentados no anexo 3.

A tabela abaixo evidencia a escolha do diâmetro nominal para os bocais. Para bocas de tamanho 6 ou menores não é obrigatório o uso de chapas de reforço.

Tabela 8-Parâmetros dos bocais de topo, (Fonte: NBR 7821).

Tamanho do bocal	Diâmetro externo do pescoço	Diâmetro do furo no teto	Altura mínima do Bocal
1 ^{1/2}	48	51	152
2	60	64	152

O bocal para a medida de nível de líquido será de tamanho de uma polegada e meia, 1^{1/2} pol e estará localizado a 1500mm da extremidade do casco, O bocal de ventilação será de tamanho de 2 polegadas, o bocal de ventilação localizando-se a 1000m da extremidade do casco, O bocal de abastecimento terá tamanho de 1^{1/2} e estará localizado a 150mm da extremidade do casco, e o bocal de descarga para operações de limpeza esta localizado na parte inferior do casco e será de tamanho 2.

Não se usarão chapas de reforço pois o tamanho dos bocais é menor que 6.

3.4.2. Flanges

Segundo Falcão, 2008 os flanges são elementos de ligação entre as partes removíveis de um equipamento e também são utilizados para conexão de bocais com as tubulações externas. Eles podem ter dimensões padronizadas conforme norma, normalmente utilizado para bocais, ou serem dimensionados especialmente para determinado serviço, como para interligação do casco com carretéis e cabeçotes de trocadores de calor casco tubo. Uma conexão flangeada consiste do flange propriamente dito, de uma junta de vedação e dos parafusos ou estojos.

Para o projecto de fabricação de tanque de combustível serão usadas flanges normalizadas que foram escolhidas a partir do catálogo da MACSTEEL TRADING (PIPES AND FITTINGS CATALOGUE) no qual para os bocais da parte superior do tanque, nomeadamente, bocal de verificação de nível de líquido, escolhe-se a flange de tipo anel com referência 50 NB, SABS1123_1000/3, SABS1123_1000/3. Para os bocais de descarga e de abastecimento usam-se flanges do tipo pescoço, para o bocal de abastecimento escolheu-se flange com referência 50 NB, SABS1123_1000/3,e para o bocal de descarga escolheu-se a flange com referência 40 NB, SABS1123_1000/3.

3.5. Cálculo de resistência do Tanque

3.5.1. Suporte do tanque de armazenamento

Para assegurar o tanque de armazenamento, será usado um suporte capaz de assegurar o peso do tanque. O tanque será suportado por suas Selas, pois, a sela de suporte distribui as cargas do tanque ao longo de uma grande área do casco, evitando assim o acúmulo excessivo local de tensões nos pontos de apoio do casco.

As dimensões da sela, entre outros detalhes de concepção, são determinadas pelo tamanho específico do tanque e pelas suas condições de concepção. A fixação da sela em sua base será feita por meio de parafusos de ancoragem que são fixados sem deixar nenhum grau de liberdade em uma das selas, a outra sela deixa-se livre para que possa permitir uma desenfreada expansão térmica longitudinal do tanque.

As selas devem estar situadas simetricamente em relação ao meio do comprimento do vaso e é recomendado que o espaçamento entre elas seja o equivalente a 3/5 do comprimento entre tangentes do casco do tanque, essa distância deve ser observada tanto quanto possível.

Para o cálculo das dimensões e localizações das placas que formam os suportes do tanque de armazenamento, serão utilizadas as seguintes relações:

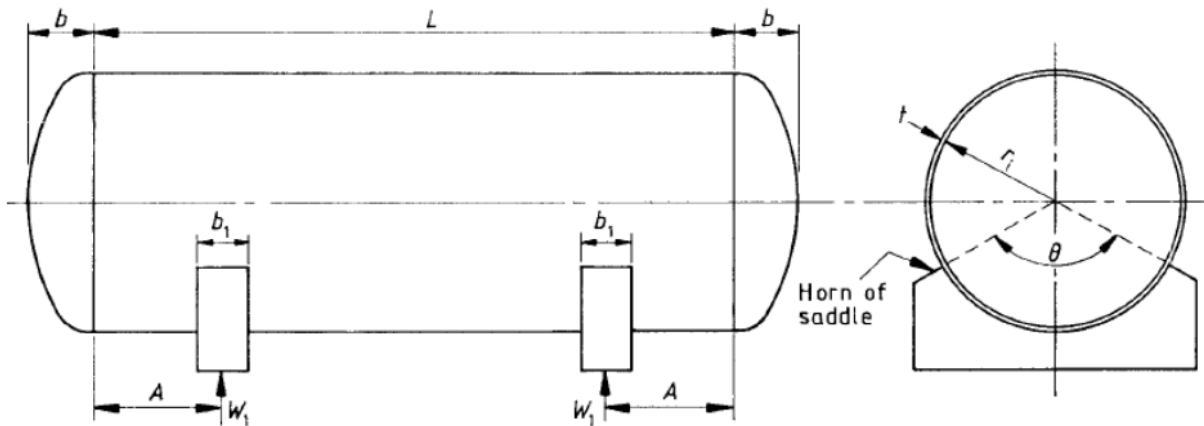


Figura 4- Posicionamento dos apoios do tanque, (Fonte: AMANDA, 2015)

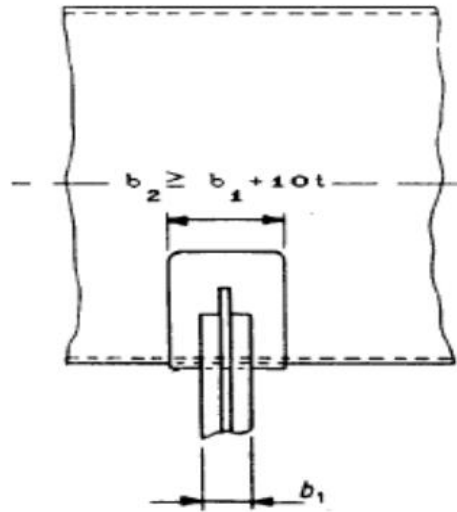


Figura 5-Esboço das bases do tanque, (Fonte: AMANDA, 2015)

$$A = \frac{1}{5} * L \quad [mm] \quad (11)$$

$$A = \frac{1}{5} * 5800 = 1160 \text{ mm}$$

$$d_s = \frac{3}{5} * L \quad [mm] \quad (12)$$

$$d_s = \frac{3}{5} * 5800 = 3480 \text{ mm}$$

$$b_1 = (60R)^{\frac{1}{2}} \quad [mm] \quad (13)$$

$$b_1 = (60 * 1250)^{\frac{1}{2}}$$

$$b_1 = 274 \text{ mm}$$

$$b_2 = b_1 + 10t \quad [mm] \quad (14)$$

$$b_2 = 274 + 10 * 6.3 = 337 \text{ mm}$$

Ainda de acordo com a BS-5500, o ângulo de contato (θ_s) entre a sela e o casco pode variar entre 110° a 170°. Para este projeto, $\theta_s = 130^\circ$.

Onde:

- A - distância do centro de cada sela para a linha de tangente da ligação do casco cilíndrico com o tampo toriesfericos;
- L - distância entre as linhas de tangente da ligação do casco cilíndrico com o tampo toriesfericos;
- d_s - distância entre os centros dos berços;
- b_1 - largura da sela;
- R - raio interno do casco cilíndrico;
- b_2 - largura da placa soldada ao casco cilíndrico;
- t - espessura comercial do casco cilíndrico;

Com o posicionamento das selas definido, o passo seguinte é fazer o cálculo dos suportes com base no raio interno do casco do cilindro (R), a força de reação em cada sela (W_i) e a tensão admissível do material (S).

- Enrijecimento do casco:

O casco, na seção superior do plano das selas, sofre ovalização caso não seja devidamente enrijecido. A ovalização é a perda da circularidade da seção transversal de um cilindro, por deformação elasto-plástica, pela ação de esforços externos. É necessário que seja feita a verificação da necessidade de enrijecimento do casco pela adição de anéis de reforço. Se faz pela equação dada abaixo:

$$A \leq \frac{R}{2} \quad [mm] \quad (15)$$

$$\frac{R}{2} = \frac{1250}{2} = 625mm$$

$$A = 1170mm$$

$$A \geq \frac{R}{2}$$

Portanto, não há necessidade de enrijecer o casco por anéis. Neste caso, a presença dos tampos soldados ao casco é responsável pelo enrijecimento do casco.

Em cada sela atua uma força vertical H devida à carga W_1 , que é a reação na sela devida ao carregamento do equipamento. Esta força atua no centro da área efetiva de resistência da sela.

A altura da sela corresponde a uma distância $y = r / 3$ a partir do casco, sendo r o raio do equipamento.

A altura mínima do sela sera de :

$$y = \frac{1}{3} * R \quad [mm] \quad (16)$$

$$y = \frac{1}{3} * 1250 = 416.67mm$$

Escolheu-se a altura de 750mm do chao ate ao quadrante do tanque, e a largura sera de 1791mm.

Para o cálculo da força horizontal H , é necessário calcular o valor da força de reação em cada sela (W_i). Para isso, será feita uma simples análise dos somatórios das forças verticais atuantes na sela:

$$\sum F_y = 0$$

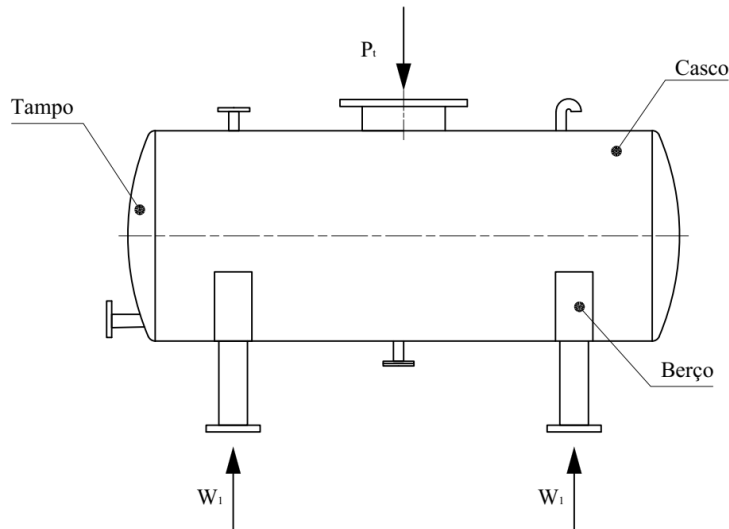


Figura 6- Diagrama do corpo livre do tanque

$$-P_t + 2 * W_1 = 0 \quad [N] \quad (17)$$

$$W_1 = \frac{P_t}{2}$$

$$P_t = m_v * g \quad [N] \quad (18)$$

O calculo da massa foi feita tendo em conta o peso especifico do combustível e o volume ocupado do mesmo:

$$m_t = \delta * V \quad [kg] \quad (19)$$

$$m_t = 750 * 28 = 22500 \text{ kg}$$

$$P_t = 22500 * 9.81 = 220725N$$

$$W_1 = \frac{220725}{2} = 110362.5N$$

Onde:

- P_t - Peso do tanque cheio de combustível;
- m_t - massa do vaso de pressão cheio não corroído;
- W_1 - força de reação em cada berço;
- g - aceleração da gravidade.

Para a espessura da alma, será utilizada uma chapa de 6 mm, conforme os catálogos da MACSTEEL. A mesma espessura será selecionada para a placa inferior da sela. Após estes cálculos, deve-se calcular a espessura das nervuras verticais, que são necessárias na sela para impedir que ocorra a flambagem devido ao peso do tanque. Falcão (2002) faz a seguinte recomendação: “recomenda-se que a quantidade de nervuras seja de tal que a distância máxima entre nervuras seja de 600 mm, com as seguintes espessuras mínimas:

- 9,5 mm para diâmetros do tanque menor que 1100 mm;
- 12,5 mm para diâmetros do tanque de 1100 mm até 2000 mm;
- 16,0 mm para diâmetros do tanque superior a 2000 mm.”

Para este projeto os suportes as nervuras terão um distanciamento de 6000mm, a base do berço terá as seguintes dimensões 2500x500mm permitindo a fixação com uma superfície previamente preparada por meio de Parafusos. E de acordo com o que Falcão (2002) diz, foi escolhida uma espessura de 16,0 mm para cada nervura e para a chapa da base.

De acordo com a BS-5500, no caso do tanque abordado neste trabalho, a carga de vento é desprezível, por tratar-se de um tanque horizontal. A sela movel deve ter furos alongados para chumbadores para acomodar a dilatação térmica própria do vaso. Os diâmetros mínimos recomendáveis para os chumbadores são:

- ¾ polegada (19,05mm) para diâmetros do vaso menor que 1100 mm;
- 7/8 polegada (22,22mm) para diâmetros do vaso de 1100 mm até 2200 mm;
- 1 polegada (25,4mm) para diâmetros do vaso superior a 2000 mm.

Para o vaso separador deste projeto, os chumbadores terão 1 polegada de diâmetro cada e serão 10 chumbadores instalados nos espaços entre a alma e as nervuras.

3.5.2. Parâmetros de operação dos tanques de armazenamento de combustível

Os tanques de armazenamento de combustível operam em condições atmosféricas de temperatura e pressão, recomenda-se que o combustível seja armazenado a 55°F o que equivale a 13°C. Visto a influencia externa do sol a temperatura media de armazenamento atinge 20°C. A pressão de operação dos tanques de armazenamento de combustível chega a se igualar a pressão atmosférica, tratando-se de um tanque atmosférico opera a pressões atmosféricas de 101.3KPa.

3.5.3. Teste Hidrostático

Teste Hidrostático é um processo que serve para verificar a resistência e vazamentos através do enchimento do equipamento com um líquido pressurizado. O Teste hidrostático funciona enchendo completamente o componente (tanque) com o líquido (normalmente, mas nem sempre é a água), até que uma determinada pressão seja atingida, a pressão é então mantida por um período específico de tempo para inspecionar visualmente a existência de vazamentos. A inspeção visual pode ser melhorada pela aplicação de um ou outro marcador ou corantes fluorescentes para o líquido, como requerido ou necessário.

Estes testes são realizados co os equipamentos fora de serviço através da pressurização, utilizando um fluido incompressível, ate uma grandeza de 1.3 vezes a pressão máxima de trabalho (PMTA), simulando uma condição mais rigorosa com o objectivo de garantir que no serviço normal não ocorra falha ou vazamento.

Para a determinação da pressão máxima de trabalho recorre-se a expressão abaixo:

$$P_{MTA} = \frac{[\sigma] * f * t}{R + 0.6 * t} \quad [Mpa] \quad (20)$$

Onde:

$[\sigma]$ - é a tensão admissível = 160MPa;

f - é a eficiência da soldadura=1;

R - Raio interno do tanque=1.238m;

t - Espessura do tanque=6mm.

$$P_{MTA} = \frac{160 * 1 * 0.006}{1.238 + 0.6 * 0.006}$$

$$P_{MTA} = 0.7735MPa$$

$$P_{MTA} = 773.5KPa$$

O tanque pode resistir ate pressões de 773.5KPa, mas visto não se tratar de um taque pressurizado a sua pressão de operação para este projecto será a pressão atmosférica.

$$P_{operação} = 6.9 KPa$$

Para o teste hidrostático, será usada uma pressão de teste de 1.3 acima da pressão de operação, deste modo o teste hidrostático será tido pela pressão abaixo:

$$P_{teste} = P_{operação} * 1.3 \quad [KPa] \quad (21)$$

$$P_{teste} = 101.3KPa * 1.3 = 131.69KPa$$

Após meia hora de teste a pressão será reduzida em 1/3 e verifica-se visualmente se ocorreu algum vazamento.

3.5.4. Protecção anticorrosiva

Apos o teste hidrostático e verificado que o tanque esta completamente estanque, que não há fugas, de fluido e de pressão o tanque deve ser submetido a uma protecção anticorrosiva com vista a aumentar a vida útil do mesmo.

A protecção anticorrosiva é necessária e de grande importância para evitar que o tanque de armazenamento e o fluído fiquem inadequados ao uso, devido à perda das dimensões críticas, gerando prejuízos e custos. Dentre os métodos de protecção anticorrosiva existentes, a pintura industrial, principalmente as tintas à base de resina epóxi, é umas das técnicas mais utilizadas, pois, tem fácil aplicação, manutenção e boa relação custo-benefício.

A parte externa das chapas estará em contacto directo com o meio atmosférico, podendo por sua vez sofrer corrosão, por esse motivo toda a estrutura externa recebera uma protecção anticorrosiva de pintura, visto que esse e um processo economicamente acessível.

A parte externa do tanque irá receber duas camadas de pintura, uma pintura primaria de Alta espessura e uma pintura final de esmalte epóxi.

A partir do catálogo da WEG (Soluções para Pintura de Tanques), para a primeira passagem, de tinta primaria escolhe-se a tinta de referência LACKPOXI N 2630, Primer epóxi poliamida bicomponente de alto teor de Sólidos de alta espessura, com pigmentação anticorrosiva de fosfato de zinco. A figura abaixo apresenta as descrições da pintura primaria.

Tabela 9- Descrição da pintura primaria (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques)

Cor	Ral, Munsell ou conforme padrão do cliente		
Rendimento teórico	5.4m ² /L ou 150μm		
Sólidos por volume	81±1%		
Secagem (a 25°C)	Toque	Manuseio	Total
	3 horas	16 horas	240 horas

Para a pintura final, escolheu-se a partir do mesmo catálogo a Tinta de referência LACKTHANE N 2677, e uma tinta de acabamento poliuretano acrílico alifático brilhante, de altos sólidos por volume. Produto desenvolvido para compor um sistema de protecção anticorrosiva, alto poder de impermeabilização, resistência química ao intemperismo natural. Abaixo as descrições da tinta na figura.

Tabela 10- Descrição da pintura final (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques)

Cor	Ral, Munsell ou conforme padrão do cliente		
Rendimento teórico	10m ² /L ou 150μm		
Sólidos por volume	65 ± 2%		
Secagem (a 25°C)	Toque	Manuseio	Total
	4 horas	8 horas	240 horas

Resumo das tintas e a espessura usada para a pintura externa do tanque

Tabela 11- Tintas e espessura da tinta (fonte: WEG- Soluções para Pintura de Tanques)

Parte Externa	Produto	Espessura seca	Função
1ª mão	LACKPOXI N2630	150 micrómetros	Primário
2ª mao	LACKTHANE N 2677	65 micrómetros	Acabamento

3.6. Processo de Fabricação

3.6.1. Mão-de-obra

Segundo a norma NBR 7821, a mão-de-obra e o acabamento deverão ser de primeira qualidade, e todas as etapas dos serviços devem ser detalhadamente inspecionadas pelo inspetor da fábrica, mesmo que o comprador abra mão de qualquer parte da inspeção. Havendo necessidade de

desempenar o material, esta operação deverá ser executada por prensagem ou outros métodos não prejudiciais ao mesmo e antes da traçagem e subsequentes operações de acabamento; não é permitido o aquecimento ou martelamento, a menos que o material seja aquecido à temperatura de forjamento.

3.6.2. Acabamento das bordas das chapas

As bordas podem ser aparadas ou chanfradas com tesoura, plaina, talhadeira ou máquina de corte a oxigênio. O corte com tesoura deve ficar limitado às chapas com espessura até 16 mm para juntas sobrepostas e 9,5 mm para juntas de topo.

Quando as bordas das chapas forem cortadas a oxigênio, a superfície resultante deve ser uniforme, lisa e livre de rebarbas e escória antes da soldagem, para execução da solda não há necessidade de remover a fina camada de ferrugem que permaneça nas bordas depois da limpeza com escova de arame; as bordas circunferências das chapas do teto e do fundo podem ser cortadas manualmente a oxigênio;

O tipo de chanfro feito nas bordas das chapas deve ser adequado ao procedimento de soldagem que for adotado na montagem do tanque, devendo ser combinado previamente entre o fabricante e o montador.

3.6.3. Corte

As chapas serão cortadas numa guilhotina, pois o processo de corte na guilhotina é rápido e apresenta um bom acabamento após o corte.

As chapas para os apoios e o berço serão obtidas numa máquina de corte por plasma, por serem peças de geometria complexa e com orifícios cilíndricos. Usa-se uma máquina de corte por plasma em que a espessura máxima da máquina é de 25mm cujas as especificações técnicas são apresentadas abaixo.

Tabela 12- Parâmetros da mesa de corte por plasma, (Fonte: Belutécnica 2022)

Parâmetros	Valores
Dimensões da mesa	2400x4200x1600
Dimensões da área de corte	1500x3000
Peso da mesa	900kg
Capacidade de água	400l
Intensidade	20-125A

A mesa de corte por plasma e apresentada abaixo, ela permite o corte de chapas planas de espessura de até 25mm.

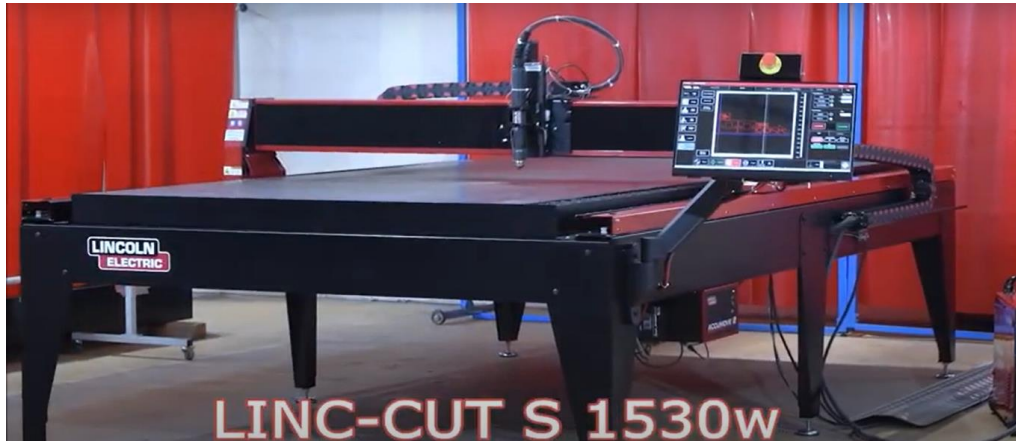


Figura 7- Mesa de corte por plasma, (Fonte Belutécnica, 2022)

A abertura de orifícios para o recebimento de bocais na parte cilíndrica do tanque será feita por meio de corte por oxiacetileno por esse permitir o corte de geometrias circulares e não precisar de uma mesa para o assentamento da peça a cortar. Para o corte com oxiacetileno usar-se-á como combustível de trabalho o acetileno juntamente com oxigênio técnico como comburente.

3.6.4. Processo de Calandragem

Para a obtenção do casco, será usado uma chapa de 6mm de espessura, a geometria cilíndrica da chapa será gerada numa calandra mecânica de três rolos. O ajuste do rolo superior livre define o diâmetro da calandragem. Para o processo de calandragem será usado uma calandra semi-automática com seguintes especificações técnicas:

MODELO: MCB E30

Tabela 13-Parâmetros da Calandra, (Fonte: Belutécnica 2022)

Parâmetros	Valores
Cumprimento dos rolos	3m
Espessura máxima	19.05mm
Número de rolos	4
Potencia	13.4kW
Diâmetro dos rolos	340.36mm

A imagem abaixo ilustra a operação de calandragem realizada na empresa Belutécnica S.A. numa chapa de 6mm de espessura.



Figura 8-Calandra (Fonte: Autor, 2022)

3.6.5. Processo de Rebordeamento

Para a obtenção dos tampos do tanque será usada uma chapa de 6mm de espessura. Os tampos serão obtidos numa rebordeadeira, onde faz-se assenta-se uma chapa circular com vista a formar a geometria pretendida por meio de rolos que dão forma toro esférica aos tampos.

No processo de rebordeamento, o disco é fixo a um eixo rotativo, que com pistões e apoios hidráulicos conformam o material. Esse processo exige grande habilidade do operador, pois o equipamento é completamente manual.



Figura 9-Rebordeadeira, (fonte: FACCIN, 2020)

3.6.6. Processo de Soldadura

Para a união das chapas era usado o processo de soldadura MAG, que é um processo de soldadura com um gás de Protecção que é o dióxido de carbono. A soldadura MAG é uma técnica de soldadura semi-automática na qual o calor necessário para a fusão entre o material de adição e o material de base é fornecido por um arco elétrico.

Este arco estabelece-se entre um fio eléctrodo consumível, alimentando continuamente e o metal base. O banho de fusão, as gotas de material de adição e o cordão de soldadura são protegidos da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo.

3.6.7. Vantagens da soldadura MAG

- O processo pode ser executado em inúmeras posições;
- Não existe a necessidade de remoção de escória;
- Utilização mais económica uma vez que não há perda de pontas como no eléctrodo revestido;
- Possibilidade de aumento de produtividade;
- Pode ser facilmente automatizado ou mecanizado;

3.7. Operação

Para a união das juntas da chapa do casco e dos tampos devem-se usar juntas de topo, pois estas suportam bem as cargas estáticas e dinâmicas e têm alta fiabilidade e simplicidade. Pois os cordoes de topo podem ser usadas para chapas e vigas contínuas de diversas espessuras.

As chapas de reforço devem ser unidas com juntas sobrepostas, A junta sobreposta unilateral deve ser aproximadamente $(0,7 \dots 1) \cdot \epsilon$, os bocais serão ligados a partir de juntas em angulo ou em T.

Serão feitos chanfros em V nas juntas de topo, mais detalhes encontra-se no desenho de fabrico do tanque.

3.8. Inspeção

Após o processo de fabricação o tanque deve ser submetido ao controle dimensional para ver se as dimensões obtidas conferem com as dimensões do projecto. O controle dimensional será feito com instrumentos de medição presentes nas oficinas.

Para a detecção de defeitos das ligações soldada será usada o ensaio ultrassónico, pela aplicação da técnicas de Inspeção Pulso-Eco, essa técnica se caracteriza pela análise feita da parcela refletida do sinal de entrada. Em caso de haver descontinuidades no material, é possível identificar suas dimensões e a sua localização na peça (ANDREUCCI, R., 2011).

Todas as ligações do tanque por meio de soldadura devem ser submetidos a um ensaio ultrassónico que permite verificar imperfeições superficiais e no interior do cordão de soldadura. Deve-se fazer o teste de estanquicidade das juntas soldadas, garantir que não há fissuras que possam dar origem ao vazamento do líquido armazenado.

3.9. Custo do tanque de combustível na empresa Belutécnica

Para a definição do custo final para a obtenção do tanque de combustível na empresa Belutécnica, tem-se em conta o custo dos materiais que serão usados para a fabricação, os consumíveis, a pintura, o custo de operação homem-máquina.

3.9.1. Custo de materiais

O casco, os tampos do tanque, o bocal de visita, os berços serão fabricados com chapas de aço A36 de 6mm de espessura. Para a fabricação serão usadas 12 chapas de dimensões 2400x1200 mm.

A tabela abaixo apresenta os custos de material para a fabricação de tanques:

Tabela 14- Preço dos materiais

Descrição	Preço	Quantidade	Total
Chapa de Aço A36 de 2400x1200x6mm	19000	12	228000
Chapa de Aço A36 de 2400x1200x16mm	63933	3	191799
Barra de Ø 16x6000mm	550	1	550
Tubo de Ø63x6000mm	738	1	738
Tubo de Ø50x6000mm	554	1	554
Ø48x6000mm	530	1	530
Flange 50 NB, SABS1123_1000/3	611	2	1222
Flange 40 NB, SABS1123_1000/3.	500	1	500

O custo total do material é igual a: 423 893 meticais.

3.9.2. O custo dos consumíveis

Tabela 15-Custo dos consumíveis

Descrição	Preço	Quantidade	Total
Disco de corte ø230x22x3	200.00	5	1000
Disco de rebarbar ø230x22x6	331.23	2	362.46
Bobina de fio Autal 1.2 15Kg	5,058.20	2	1011.64
Dióxido de carbono e 50L/37Kg	3,998.50	1	3998.5
Tocha	8,616.50	1	8616.5
Bico de soldar 1.2 M8	180.00	1	180
Granalha	620.00	1	620
Gasoleo (Compressor e Empilhadeira)	90.00	10	900
Thinner	223.94	5	1119.7
Tinta primária cinzenta	692.00	10	6920
Tinta secundaria	892.00	10	8920

O preço total de consumíveis para a fabricação e pintura do tanque é: 33 648 meticais.

3.9.3. Custo de homem-máquina

O custo de homem máquina é definido segundo as operações de fabricação, o tempo de fabricação.

Operação	Custo por hora [mts]	Tempo[horas]	Total
Corte na Guilhotina	200	2	400
Corte por Oxiacetilenio	280	3	840
Dobragem na calandra	300	3	900
Corte por plasma	300	1	300
Soldadura	300	5	1500
Embutidura	250	2	500
Kit de decapagem	350	5	1750
Kit de pintura	400	6	2400

O custo total de homem máquina é de: 8590 meticais.

3.9.4. Margem de lucro

O custo total de fabricação do tanque é o somatório do custo dos materiais, consumíveis, e o custo de homem-máquina.

O custo total de fabricação será de: 466 131 meticais.

Impondo uma margem de lucro de 30% no custo total de fabricação com vista a suprir todos os custos indirectos da fabricação, tem-se:

$$C_t = 466\ 131 * 1.3$$

$$C_t = 605970 \text{ meticais}$$

Para a fabricação do tanque de combustível de 30 metros cúbicos a empresa necessita de seiscentos e cinco mil e novecentos e setenta meticais.

3.9.5. Comparação do preço de fabricação na Belutécnica em relação ao preço de aquisição no mercado externo

O tempo de fabricação que será despendido pela Belutecnica S.A será de aproximadamente uma semana e meia, tornando a empresa como forte candidato para a prestação deste serviço em comparação aos fornecedores estrangeiros pois só para o transporte do tanque do exterior para Moçambique levaria cerca de quatro semanas.

Segundo alguns sites de fornecedores de tanques, o preço para a compra de um tanque de combustível líquido de 30 m³ e em média de 14 mil dólares americanos, equivalente a aproximadamente 889 mil meticais. que comparado ao preço de fabricação na empresa Belutécnica S.A chega a ser mais caro, pois a Belutécnica para a sua fabricação apresenta um custo final de 605970 meticais.

Face a essa observação considera-se mais viável fabricação do tanque de combustível na empresa Belutécnica S.A pois oferece a fabricação a preço competitivo e com excelente qualidade.

3.10. Conclusão

Findo o presente projecto na empresa Belutécnica pôde-se consolidar os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos durante a formação na área de fabricação mecânica. A criação do relatório viabilizou os processos de fabricação de tanques pois permite a rápida definição dos processos de fabricação, e a rápida definição das dimensões dos tanques, visto que o relatório já se encontra na base de dados da empresa para responder a posteriores ordens de fabricação de tanques.

Por meio de pesquisas bibliográficas e documentais pôde-se dimensionar um tanque aéreo de combustível líquido de 30m³, escolher o processo de fabricação para a obtenção de um tanque aéreo de combustível, efectuar o ensaio não destrutivo de um tanque aéreo de combustível líquido e definição de um método de protecção anticorrosiva.

O tanque foi fabricado usando normas internacionais, API 650 e a NBR 7821, tendo sido escolhido matérias de fácil acesso no mercado nacional viabilizando a sua fabricação, tratando-se de um tanque de armazenamento cujo a pressão interna de armazenamento se iguala a pressão atmosférica, e a temperatura média chega a se igualar a temperatura ambiente gerando solicitações internas desprezíveis. Para casos de aumentos significativos de temperatura e pressão montou-se um bocal de ventilação para permitir a liberação de vapor gerado pelos combustíveis armazenados. Escolheu-se o Aço A36 que é um material cujo a sua composição permite resistir bem a corrosão devido ao teor significativo de Cromo e Níquel.

3.11. Bibliografia

1. ALVARADO, P. J. (1996). Steel vs. plastics: **The competition for light-vehicle fuel tanks. The Minerals, Metals & Materials Society**, 48: 22 – 25
2. ANDREUCCI, R. **Ensaio não destrutivo por ultrassom**. Ed. Jan/2011.
3. API 650: 2013. **Welded Tanks for Oil Storage**. 12th Edition. March 2013.
4. ASTM A 36/A 36M – 97a. **Standard Specification for Carbon Structural Steel**. 1997.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABR 1983. 1983.
6. BARROS, Stenio Monteiro de. **Tanques de Armazenamento**. Rio de Janeiro. Universidade Petrobras. Julho de 2014.
7. BEDNAR, P.E.H. **Pressure Vessel Design Handbook**. 1.ed.
8. BIZZO, W. A. (2003). **Geração, Distribuição e utilização de vapor**. Brazil: UNICAMP.
9. LINDENBERG, Andrey [et al.] - **Área de tancagem [Em linha]**. Salvador da Baía, Brasil: SENAI, [2008].
10. N-270: 2010. Norma Petrobras - **Projeto de Tanque Atmosférico**. Revisão E. Dezembro de 2010.
11. N-1742: 2003. Norma Petrobras - **Tanque de Teto Flutuante Selo PW**. Revisão F. Dezembro de 2010.
12. NBR-7821: **Tanques Soldados Para Armazenamento de Petróleo e Derivados**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABR 1983. 1983.
13. NBR-7821: **Tanques Soldados Para Armazenamento de Petróleo e Derivados**.
14. OLIVEIRA, R. C. **Tanques de Armazenamento**, 2009.
15. RICHARDSON, R. J. Pesquisa social: métodos e técnicas. São Paulo: Editora Atlas, 1999.
16. SOUZA, E., RAZUK, P.C. **Operações Unitárias no Tratamento do Xarope de Açúcar**. Bauru: EDIPRO, 1996. 319p.
17. SUZUKI, C. E. T. **Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiros dentro da General Motors do Brasil**. 2007.
18. TELLES, P.C.S. **Vasos de Pressão**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora – 2ª Edição Atualizada. Rio de Janeiro, 2001

19. THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.ASME VIII Boiler and Pressure Vessels Section II Part D Properties (Customary) Materials New York, 2004

Anexo 1- Classificação dos tipos de combustíveis

Tabela 16-Classificação de tipos principais de combustíveis, (Fonte: BIZZO 2003)

Tipo de combustível		
Sólido	Líquido	Gasoso
Natural		
Lenha Turfa Lignita Carvão-de-pedra, (hulha) Antracite Xistos de combustível	Petróleo	Gás natural Gás, obtido durante de extração de petróleo
Artificial		
Briquetes Coque Semicoque	Produtos de rectificação de petróleo. Álcool Combustível líquido sintético	Gás do ar (de gasogênio) Gás de gasificação subterrânea de carvão Gás liquefeito Hidrogénio
Resíduos de combustível		
Resíduos de concentração de carvão Coque Resíduos das empresas de tratamento de madeira	Mazute Alcatrão	Gás de alto forno Gás de coque Gases de retificação de petróleo

Anexo 2- Esboço do bocal de visita

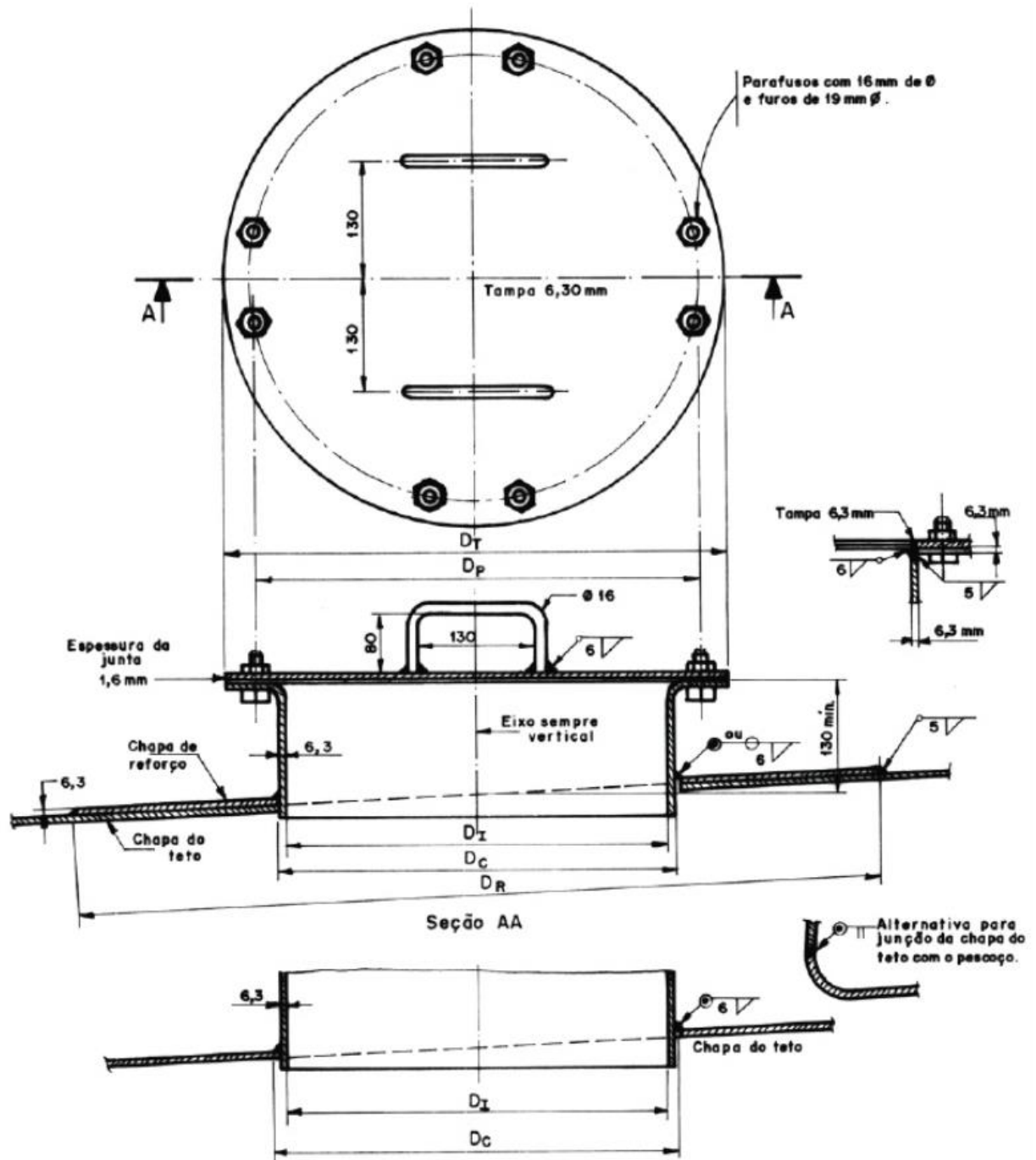


Figura 5- Esboço do bocal de visita, (Fonte NBR 7821)

Anexo 3- Esboço do bocal de visita

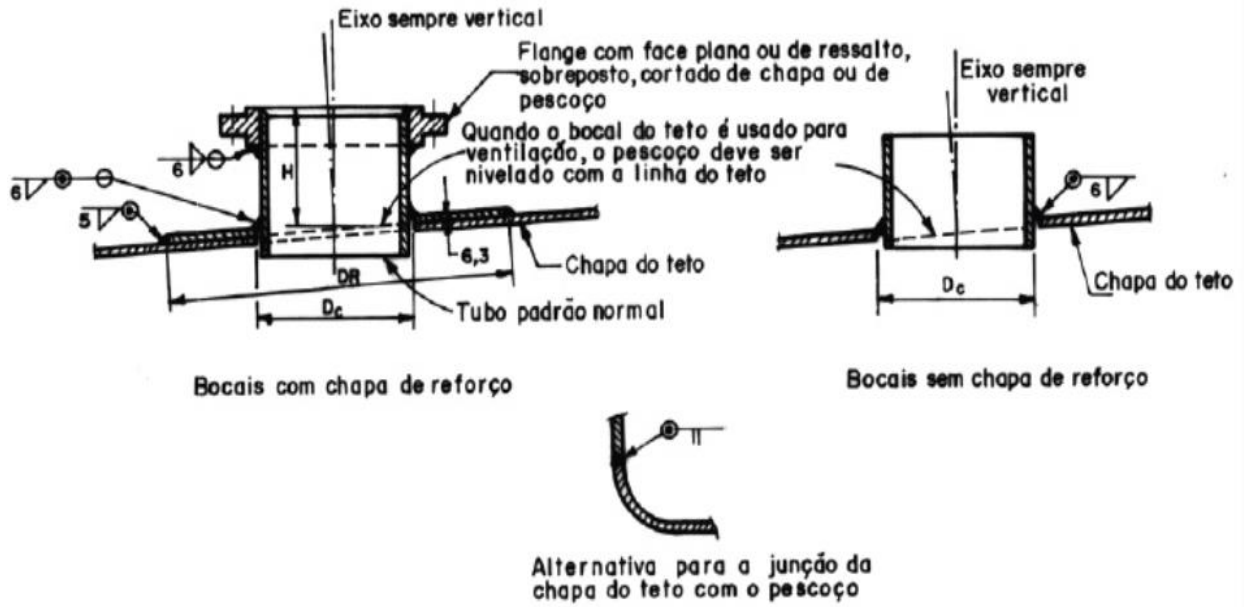


Figura 6-Esboço do desenho do bocal de teto, (Fonte: NBR7821)