



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Estágio Profissional

Tema:

**Análise Técnica e Operacional da Substituição de Bombas de Combustível
de Carreto por Bombas Centrífugas na Petromoc**

Autor:

Nelson Maeja

Supervisor:

Engº. Roberto David

Coordenador:

Maputo, Novembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL
Estágio Profissional

**Análise Técnica e Operacional da Substituição de Bombas de Combustível
de Carreto por Bombas Centrífugas na Petromoc**

Autor:

Nelson Maeja

Supervisor:

Eng^o. Roberto David

Coordenador:

Maputo, Novembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Curso de Engenharia e Gestão Industrial

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Nelson Maeja entregou no dia ___/11/2024 as ___ cópias do relatório do seu trabalho de Estágio Profissional intitulado: Análise Técnica e Operacional da Substituição de Bombas de Combustível de Carreto por Bombas Centrífugas na Petromoc

SUPERVISORES	Nome	Assinatura
Da Empresa	Engº.	
Da UEM	Engº.	
Co-supervisor		

Maputo, ___ de _____ de 2024

O estudante

O Director do Curso

(Nelson Maeja)

(Engº.)



**Análise Técnica e Operacional da Substituição de Bombas de
Combustível de Carreto por Bombas Centrífugas na Petromoc**

Índice

AGRADECIMENTOS	VI
DEDICATÓRIA.....	VII
DECLARAÇÃO DE HONRA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS	X
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Introdução	1
1.2 Problemática.....	2
1.3. Problema de pesquisa	2
1.5. Objectivos do trabalho	2
1.4.1 Objectivo geral	2
1.4.2. Objectivos específicos.....	2
1.5. Preposições	3
1.6. Perguntas da investigação	3
1.7. Justificativa de Estudo.....	3
1.8. Estrutura do trabalho	4
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Conceitos.....	5
2.2. Bombas de carreto.....	6
2.2.1. Funcionamento das bombas de carreto	7
2.3. Bombas centrífugas	8
2.3.1. Funcionamento das bombas centrífugas.....	9
2.3.2. Precisão no enchimento com bombas centrífugas.....	12
2.3.3. Consistência no enchimento com bombas centrífugas.....	13
2.4. Análise comparativa das bombas de carreto e bombas centrífugas	13
2.4.1. Desempenho das bombas de carreto e bombas centrífugas	13
2.4.2. Comparação técnica e operacional	14
CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	15
3.1. Local de Estudo	15
4.1. Métodos e Técnicas Usadas	18
4.2. Diagnóstico do Sistema Actual	19
4.3. Modelagem Hidráulica.....	19

4.5. Metodologia para dimensionamento do sistema	20
CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	20
5.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	20
5.1.1. Dimensionamento do sistema	23
5.1.2. Impacto da densidade em bombas hidráulicas: operação, rendimento e controlo de pressão.....	24
5.1.2.1. Relação entre Densidade, Potência e Pressão	24
5.1.2.1.1 Diferenças de Potência para Diferentes Densidades	24
5.1.2.2. Pressão e rendimento em operações de bombeamento.....	25
5.1.2.2.1 Pressão no sistema.....	25
5.1.2.2.2 Rendimento do Sistema.....	25
5.1.2.3. Automação e Monitoramento com Painéis Digitais.....	25
5.1.2.3.1 Funcionamento do Sistema Automatizado.....	26
5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	28
5.2.1. Substituição das Bombas de Carreto por Centrífugas	30
5.2.2. Comparação de Desempenho	30
5.2.3. Orçamento dos Projectos.....	30
5.3. Proposta de Melhoria	32
5.4. Implementação Piloto.....	32
CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO.....	34
6.1. Conclusão.....	34
6.2. Recomendações para trabalhos futuros	35
Referencias bibliográficas	36

AGRADECIMENTOS

A elaboração de qualquer trabalho científico conta, directa ou indirectamente com a contribuição de muitas pessoas o que faz com que seja um trabalho de equipa. A todas as que contribuíram presto os meus maiores agradecimentos. Entretanto, não seria justo e, muito menos correcto, deixar passar esta oportunidade de agradecer á aquelas que particularmente contribuíram para a sua realização. Que passo a manifestar o meu agradecimento a todos e de uma forma particular:

- Em primeiro lugar agradeço a Deus, por me proteger e dar a força de continuar com os estudos.
- A todos os colegas e professores do Curso de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade Eduardo Mondlane.

DEDICATÓRIA

A minha esposa que além de cuidar das nossas filhas enquanto eu permanecia ocupado com este projecto, foi capaz de me incentivar todos os dias. Obrigado por me ajudar a realizar este sonho.”

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.

(Guimarães Rosa, escritor brasileiro)

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Nelson Maeja declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bombas de Carreto Externo e interno (Santos, 2018)	7
Figura 2. Bombas de Carreto Externo e interno (Santos, 2018),	8
Figura 3. Diferentes tipos de bombas centrífugas (Bombas de caudal radial, bombas de.....	9
Figura 4. Bomba Centrífuga em corte (Santos, 2018)	10
Figura 5. Carga e descarga da bomba centrífuga (Fonte: www.ufrnet.br)	11
Figura 6. Selecção da bomba centrífuga, Oliveira e Silva (2020).....	12
Figura 7. Sala de Bombagem do produto petrolífero, Autor (2024).....	16
Figura 8. Depósitos para armazenamento de combustíveis, Autor (2024)	17
Figura 9. Problemas recorrentes de desgaste nas bombas de carreto, resultando em paradas frequentes para manutenção, Autor (2024).....	19
Figura 10. Automação e Ajuste Dinâmico Conforme a Demanda ou Procura, Autor (2024) .	22
Figura 11. Manómetro manual para as bombas de carreto, Autor (2024)	26
Figura 12. Manómetro digital para as bombas centrífugas, Autor (2024)	26
Figura 13. Estação de bombardeamento e comutação, Autor (2024)	27
Figura 14. A implementação piloto das bombas centrífugas, Autor (2024)	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Orçamento dos Projectos	30
---	----

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

A	Área da seção transversal da tubulação
g	Aceleração da gravidade (9,81 m/s ²)
P	Potência
<i>H_{acc}</i>	Perda de carga em acessórios
<i>H_{geo}</i>	Altura geométrica entre o nível do tanque e a saída do sistema
<i>H_{pc}</i>	Perda de carga na tubulação
H _{total}	Altura manométrica total (m)
Petromoc	Empresa Petróleos de Moçambique
Phid	Potência hidráulica (W)
Q	Vazão (m ³ /s)
Sonarep	sociedade nacional de refinação de petróleo
ρ	Densidade do fluido (kg/m ³)
η	Eficiência da bomba

RESUMO

O presente trabalho aborda a substituição das bombas de carreto por bombas centrífugas na Petromoc, empresa moçambicana líder em distribuição de combustíveis. O estudo tem como objectivo avaliar a viabilidade técnica e económica dessa substituição, visando resolver problemas recorrentes, como o desgaste acelerado das bombas de carreto, que geram frequentes paradas para manutenção, além de comprometerem a precisão e a pressão constante no processo de enchimento. A metodologia aplicada inclui uma análise comparativa de desempenho e eficiência entre as bombas de carreto e centrífugas, com base em dados operacionais, cálculos de vazão, potência necessária, altura manométrica, consumo de energia, e custo de manutenção ao longo de um período de 10 anos. Os resultados indicam que as bombas centrífugas são mais vantajosas para operações de alta demanda e exigem menor manutenção, resultando em maior durabilidade e redução de custos operacionais. Com uma eficiência energética de 83,3%, as bombas centrífugas proporcionam economia de energia e custos a longo prazo, uma vez que o custo total projectado em 10 anos para o sistema de bombas centrífugas é 57.560 USD inferior ao sistema de bombas de carreto. Além disso, as centrífugas demonstram melhor desempenho na consistência de fluxo, menor desgaste, maior vida útil e maior estabilidade operacional, que são cruciais para o funcionamento ininterrupto das operações de abastecimento. Em relação aos objectivos específicos, a pesquisa conseguiu verificar o desempenho superior das bombas centrífugas quanto à capacidade de sucção, precisão no enchimento e redução do desgaste mecânico, permitindo uma operação mais segura e económica. Desta forma, o estudo conclui que a substituição das bombas de carreto por centrífugas é uma solução promissora para a Petromoc, atendendo às necessidades de modernização e eficiência operacional.

Palavras-chave: bombas centrífugas, bombas de carreto, eficiência energética, Petromoc, durabilidade, modernização tecnológica, distribuição de combustíveis.

ABSTRACT

This paper addresses the replacement of gear pumps with centrifugal pumps at Petromoc, a leading Mozambican fuel distribution company. The study aims to assess the technical and economic feasibility of this replacement, aiming to solve recurring problems, such as accelerated wear of gear pumps, which generate frequent maintenance stops, in addition to compromising the accuracy and constant pressure in the filling process. The applied methodology includes a comparative analysis of performance and efficiency between gear pumps and centrifugal pumps, based on operational data, flow calculations, required power, head, energy consumption, and maintenance cost over a 10-year period. The results indicate that centrifugal pumps are more advantageous for high-demand operations and require less maintenance, resulting in greater durability and reduced operating costs. With an energy efficiency of 83.3%, centrifugal pumps provide long-term energy and cost savings, as the total projected cost over 10 years for the centrifugal pump system is USD 57,560 lower than that of gear pumps. In addition, centrifugal pumps demonstrate better performance in flow consistency, less wear, longer service life and greater operational stability, which are crucial for the uninterrupted operation of fueling operations. In relation to the specific objectives, the research was able to verify the superior performance of centrifugal pumps in terms of suction capacity, filling accuracy and reduction of mechanical wear, allowing for safer and more economical operation. Thus, the study concludes that replacing gear pumps with centrifugal pumps is a promising solution for Petromoc, meeting the needs for modernization and operational efficiency.

Keywords: centrifugal pumps, gear pumps, energy efficiency, Petromoc, durability, technological modernization, fuel distribution.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A eficiência energética e a modernização tecnológica são temas de crescente importância no sector de distribuição de combustíveis. No mundo, a substituição de tecnologias obsoletas por soluções mais eficientes é uma tendência para melhorar a precisão e a durabilidade dos sistemas operacionais e neste contexto as bombas centrífugas têm ganhado destaque globalmente por sua capacidade de fornecer fluxo contínuo e pressão constante, primordial para a operação eficiente das instalações de transferência de combustíveis, Green (2019).

Na África, a infra-estrutura de distribuição de combustíveis ainda enfrenta desafios significativos, como o desgaste excessivo dos equipamentos e a falta de precisão no processo de enchimento e com a adoção de tecnologias avançadas, como as bombas centrífugas, é uma resposta às necessidades de modernização e aumento da eficiência operacional, Brown (2021).

Em Moçambique, a empresa Petróleos de Moçambique (Petromoc) tem sido uma líder na distribuição de combustíveis, uma das principais *hubs* de transferência de combustíveis do país, está passando por um processo de modernização para enfrentar problemas recorrentes como o desgaste excessivo dos carretéis e a falta de precisão e pressão no enchimento.

A empresa Petróleos de Moçambique (Petromoc) tem enfrentado desafios significativos devido ao desgaste excessivo das bombas de combustível de carreto, que resultam em interrupções frequentes e altos custos de manutenção e a substituição por bombas centrífugas é vista como uma solução promissora para melhorar a eficiência e a eficácia operacional, oferecendo maior precisão no enchimento e pressão constante, , factores críticos para a segurança e eficiência das operações.

1.2 Problemática

A problemática principal reside na dificuldade de aquisição de acessórios para a manutenção das bombas de carroto criado pelo desgaste acelerado, resultando em frequentes paragens para manutenção, além da falta de precisão e pressão constantes, comprometendo a eficiência do processo de transferência de combustíveis na empresa Petróleos de Moçambique.

1.3. Problema de pesquisa

Os principais problemas identificados são: desgaste excessivo das bombas de carroto: resulta em custos elevados de manutenção e frequentes interrupções operacionais, falta de precisão no enchimento: afecta a consistência e a confiabilidade das operações de transferência de combustíveis e insuficiência de pressão constante: compromete a eficiência operacional e a segurança das operações.

Estes problemas não apenas aumentam os custos operacionais, mas também afectam a capacidade da Petromoc de abastecer serviços de maneira eficiente e confiável. A transição para bombas centrífugas é vista como uma solução que pode mitigar esses problemas, proporcionando maior durabilidade e precisão operacional.

1.5. Objectivos do trabalho

O objecto de estudo é a análise técnica e operacional da substituição das bombas de combustível de carroto por bombas centrífugas na empresa Petróleos de Moçambique, visando a melhoria da eficiência e eficácia das operações de transferência de combustíveis.

1.4.1 Objectivo geral

- Avaliar a eficiência técnica e operacional da substituição das bombas de combustível de carroto por bombas centrífugas na Petromoc.

1.4.2. Objectivos específicos

- Analisar o desempenho das bombas de combustível de carroto em comparação com as bombas centrífugas;
- Avaliar a consistência da sucção do combustível nos depósitos de armazenamento durante o enchimento dos caminhões-tanque, comparando o desempenho das bombas centrífugas com as bombas de carroto;
- Verificar a precisão e a consistência do enchimento de combustíveis utilizando bombas centrífugas.

1.5. Preposições

Preposição: A substituição das bombas de combustível de carreto por bombas centrífugas resultará em uma melhoria significativa na eficiência e na precisão operacional das operações de transferência de combustíveis na Petromoc.

Preposição: A implementação de bombas de combustível com sistemas de carbono pode oferecer uma solução intermediária, melhorando a durabilidade e a eficiência operacional.

1.6. Perguntas da investigação

1. Como a substituição das bombas de combustível de carreto por bombas centrífugas impacta a eficiência operacional e a precisão das operações de transferência de combustíveis na Petromoc?

1.7. Justificativa de Estudo

A justificativa para este estudo é baseada na necessidade urgente de melhorar a eficiência operacional da Petromoc. As bombas de combustível de carreto têm se mostrado inadequadas para as procuras actuais, resultando em frequentes falhas e altos custos operacionais. A substituição por bombas centrífugas promete não apenas solucionar estes problemas, mas também proporcionar uma operação mais estável e segura, garantindo a continuidade dos serviços essenciais que a Petromoc oferece ao país.

Como funcionário e estudante, a motivação para este estudo nasce da observação directa dos desafios enfrentados pela Petromoc em suas operações diárias. A transição para bombas centrífugas não apenas representa uma solução técnica, mas também uma oportunidade de contribuir para a melhoria das operações da empresa, aumentando a confiabilidade do abastecimento e reduzindo os custos de manutenção. Além disto, este estudo serve como uma aplicação prática dos conhecimentos adquiridos durante a formação académica, unindo teoria e prática em um projecto de relevância profissional e académica.

Assim como no âmbito:

Ambiental: Redução de vazamentos e melhorias na eficiência energética.

Social: Melhora na segurança das operações, beneficiando trabalhadores e a comunidade local.

Económico: Redução de custos operacionais e aumento da confiabilidade do fornecimento de combustíveis para a empresa.

1.8. Estrutura do trabalho

O presente trabalho apresenta seis capítulos, que estão divididos da seguinte forma:

Capítulo I – INTRODUÇÃO – foi apresentada a contextualização, a importância da escolha do tema, a pergunta de partida, os objectivos gerais e específicos e a hipótese de investigação;

Capítulo II- REVISÃO DE LITERATURA – aborda os principais conceitos,.

CAPÍTULO III – CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO: O capítulo aborda os passos e as etapas seguidas para alcançar os objectivos desenhados.

Capítulo IV- METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA: O capítulo aborda os passos e as etapas seguidas para alcançar os objectivos desenhados.

Capítulo V- ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS – serão apresentados os resultados da pesquisa que consiste em...

Capítulo VI- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO – serão referidas as principais ilações do trabalho bem como a indicação de sugestões e recomendações para os trabalhos futuros sobre esta temática. Ainda, fazem parte desta memória a bibliografia, o apêndice e os anexos.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceitos

Bombas de combustível

As bombas de combustível são mecanismos básicos na transferência de fluidos, particularmente combustíveis que consistem em sucção e expansão do fluido de um ponto a outro, mantendo a pressão e o fluxo necessários para operações industriais e comerciais. Elas são amplamente utilizadas em diversas indústrias, como a petroquímica, para garantir a continuidade das operações (Santos, 2018).

Bombas de carreto

As bombas de carreto, também conhecidas como bombas de engrenagem, funcionam por meio do movimento rotativo de duas engrenagens que se entrelaçam. Estas engrenagens capturam o fluido nas cavidades entre os dentes e a carcaça da bomba, movendo-o do ponto de entrada ao ponto de saída. Utilizam engrenagens para mover o fluido, sendo eficazes para líquidos viscosos e ambientes que requerem alta pressão. No entanto, sofrem desgaste elevado e requerem manutenção frequente (Santos, 2018).

Bombas centrífugas

As bombas centrífugas operam convertendo energia cinética em energia de pressão através da rotação de um impulsor. O fluido entra na bomba pelo centro do impulsor, é acelerado para a periferia pela força centrífuga, e é então expelido para fora do impulsor em alta velocidade. Operam convertendo energia cinética em energia de pressão por meio de um impulsor rotativo, sendo ideais para operações de fluxo contínuo e alta precisão (Fernandes & Oliveira, 2021).

Sucção de combustível em depósitos de armazenamento

A sucção de combustível em depósitos de armazenamento é um processo crítico para a transferência eficaz de combustíveis para caminhões-tanque. A consistência deste processo é substancial para garantir a eficiência, segurança, e precisão na operação, minimizando perdas e evitando problemas como cavitação e interrupções na transferência. A escolha da bomba adequada impacta diretamente o desempenho operacional e a confiabilidade das operações (Fernandes & Oliveira, 2021).

Precisão e consistência no enchimento de combustíveis

A precisão e a consistência no enchimento de combustíveis são factores básicos para a eficiência operacional em sistemas de distribuição de combustíveis. Precisão refere-se à capacidade de uma bomba entregar a quantidade exacta de combustível desejada, enquanto consistência envolve a manutenção desta precisão ao longo do tempo, mesmo sob condições variáveis de operação. Estes factores são fundamentais para evitar desperdícios, garantir a segurança, e otimizar os custos operacionais (Fernandes & Oliveira, 2021).

2.2. Bombas de carreto

Existem dois principais tipos de bombas de carreto:

- 1. Bombas de Carreto Externo:** Possuem duas engrenagens externas que giram em direcções opostas, criando vácuo que puxa o fluido para dentro da bomba. Este tipo é mais comum em aplicações industriais devido à sua robustez e capacidade de operar com fluidos de alta viscosidade (Santos, 2018).
- 2. Bombas de Carreto Interno:** Possuem uma engrenagem interna e outra externa, com o fluido sendo movido ao longo do espaço criado entre elas. Essas bombas são usadas em aplicações onde o espaço é uma limitação e onde se exige um fluxo contínuo e suave (Santos, 2018).

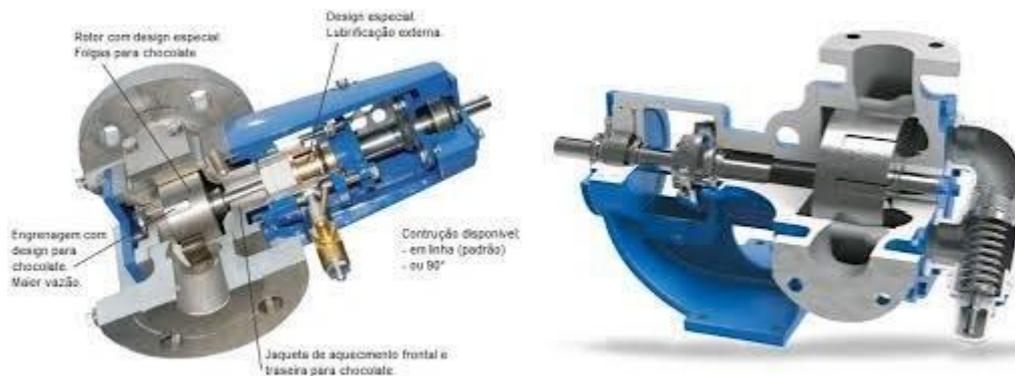




Figura 1. Bombas de Carreto Externo e interno (Santos, 2018)

Segundo Santos (2018), as bombas de carreto são eficazes em situações que requerem o bombeamento de fluidos viscosos e sob altas pressões, mas apresentam desvantagens como desgaste acelerado e alta sensibilidade a partículas abrasivas, o que pode aumentar os custos de manutenção e diminuir a vida útil da bomba.

2.2.1. Funcionamento das bombas de carreto

As bombas de carreto, ou bombas de engrenagem, são amplamente utilizadas em aplicações onde a movimentação de fluidos viscosos e a manutenção de alta pressão são necessárias. Elas operam por meio do entrelaçamento de duas engrenagens, que criam um vácuo na entrada da bomba, permitindo a sucção do combustível, ou seja, cria uma câmara de baixa pressão que suga o fluido para dentro da bomba e o empurra através das cavidades entre os dentes (Silva, 2019).

De acordo com Santos (2018), este tipo de bomba é especialmente eficaz em aplicações que requerem uma pressão constante e a capacidade de manejar fluidos de alta viscosidade, características comuns em sistemas de armazenamento de combustíveis. No entanto, as bombas de carreto podem enfrentar desafios em termos de consistência da sucção e o desgaste mecânico nas engrenagens pode levar a uma redução na eficiência da sucção ao longo do tempo, o que resulta em variações na pressão e na taxa de fluxo durante o enchimento dos caminhões-tanque. Esta inconsistente performance pode causar problemas na operação, como a cavitação, que ocorre quando a pressão na entrada da bomba cai abaixo do ponto de vapor do fluido, resultando na formação de bolhas que podem danificar a bomba e reduzir a eficiência do processo.



Figura 2. Bombas de Carreto Externo e interno (Santos, 2018),

2.3. Bombas centrífugas

Os tipos mais comuns de bombas centrífugas incluem (Fernandes e Oliveira, 2021):

1. **Bombas de Fluxo Radial:** O fluido é expelido perpendicularmente ao eixo do impulsor. Este tipo é amplamente utilizado devido à sua eficiência em mover grandes volumes de líquidos.
2. **Bombas de Fluxo Axial:** O fluido é empurrado ao longo do eixo da bomba, o que as torna ideais para aplicações que exigem altas taxas de fluxo com baixa elevação.
3. **Bombas Multiestágios:** Possuem múltiplos impulsores em série, permitindo que o fluido passe por várias fases de aceleração e aumento de pressão, sendo ideal para aplicações que exigem alta pressão e baixa vazão.

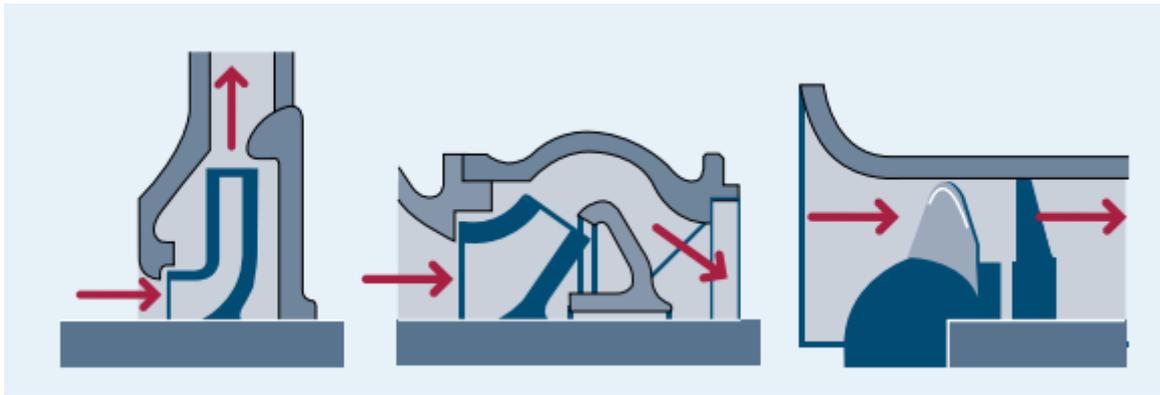


Figura 3. Diferentes tipos de bombas centrífugas (Bombas de caudal radial, bombas de caudal misto e bombas de caudal axial) (Fernandes e Oliveira, 2021).

De acordo com Fernandes e Oliveira (2021), as bombas centrífugas são preferidas em aplicações onde é necessário manter uma pressão constante e mover grandes volumes de fluidos com baixa viscosidade. Elas também se destacam por sua durabilidade e menor necessidade de manutenção em comparação com as bombas de carreto.

2.3.1. Funcionamento das bombas centrífugas

As bombas centrífugas são constituídas por três partes fundamentais, conforme figura 2:

Rotor ou Impelidor, responsável por impulsionar o fluido.

Carcaça, que contém o líquido, envolvendo o rotor, e dispõe de bocais de entrada (sucção) e saída (descarga) do fluido.

Eixo, atravessa a carcaça, conecta-se ao rotor, fornecendo movimento rotativo.

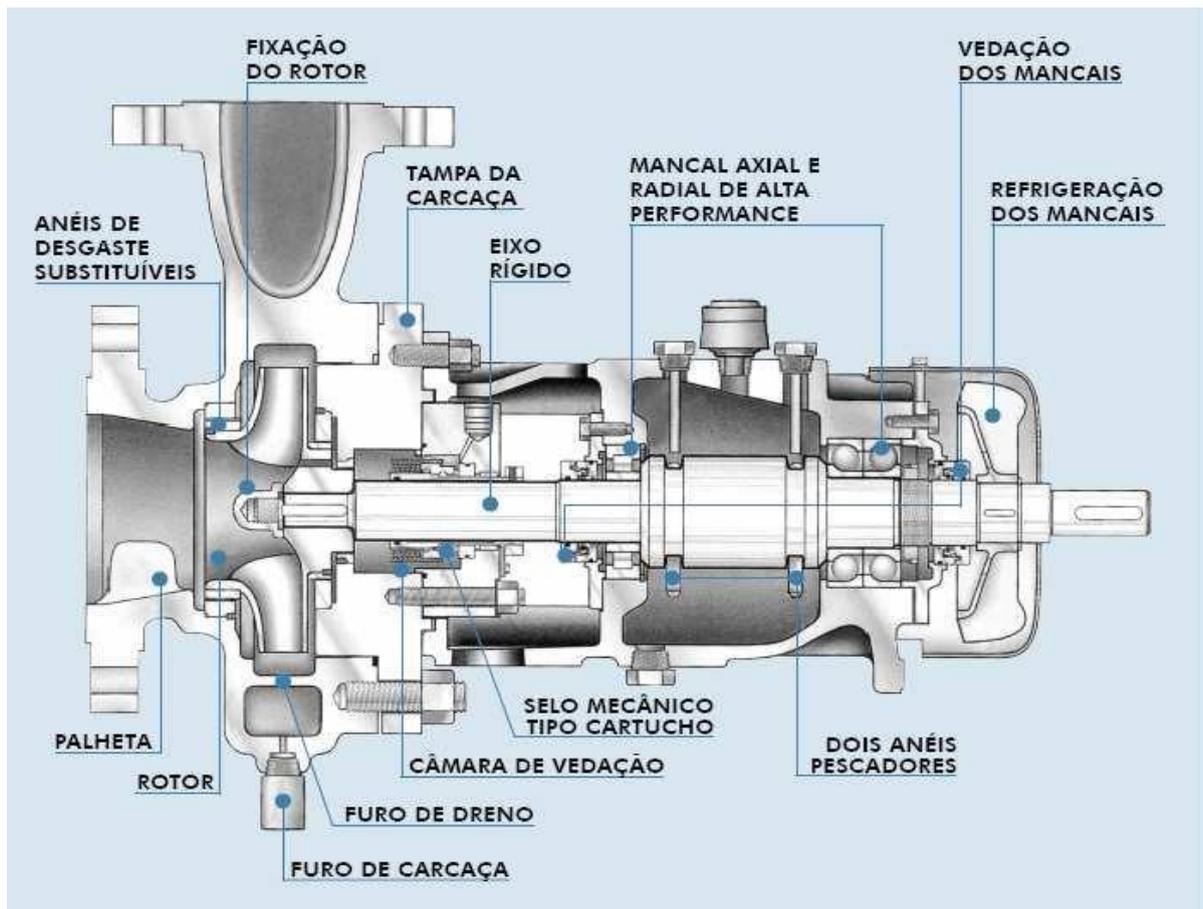


Figura 4. Bomba Centrífuga em corte (Santos, 2018).

As bombas centrífugas têm como princípio de funcionamento a criação de duas zonas de pressão: uma de baixa pressão na sucção e outra de alta pressão na descarga (recalque). Na partida é necessário que a carcaça da bomba e tubulação de sucção estejam totalmente preenchidas com o líquido a ser bombeado. O enchimento da carcaça da bomba e a tubulação de sucção é chamado de escorva. O movimento rotativo do rotor faz com que as partículas de líquido sejam impulsionadas para fora. Esse movimento centrífugo cria um “vácuo” na entrada (baixa pressão) e um “acúmulo” na saída (alta pressão) pela redução da velocidade com o aumento de volume na carcaça (no difusor ou pás difusoras). A baixa pressão succiona novas partículas vindas da sucção, estabelecendo um fluxo contínuo de líquido. A alta pressão permite que o líquido vença as perdas impostas pela tubulação e seus acessórios. Ou seja as bombas centrífugas operam convertendo energia cinética em energia de pressão através da rotação de um impulsor. O combustível é captado pelo centro do impulsor (o olho) e, pela força centrífuga, é lançado para a periferia, onde sai da bomba a uma pressão mais alta. Este processo contínuo e sem pulsos é fundamental para garantir uma transferência suave e controlada do fluido (Santos, 2018).

O líquido é direccionado para a parte central do rotor, entra em movimento de rotação e é impelido para a periferia do rotor pela acção da força centrífuga, adquirindo grande velocidade (figura 3). A seguir, percorre o contorno da carcaça onde parte dessa energia de velocidade é transformada em energia de pressão e é lançado para fora da bomba pelo bocal de descarga.

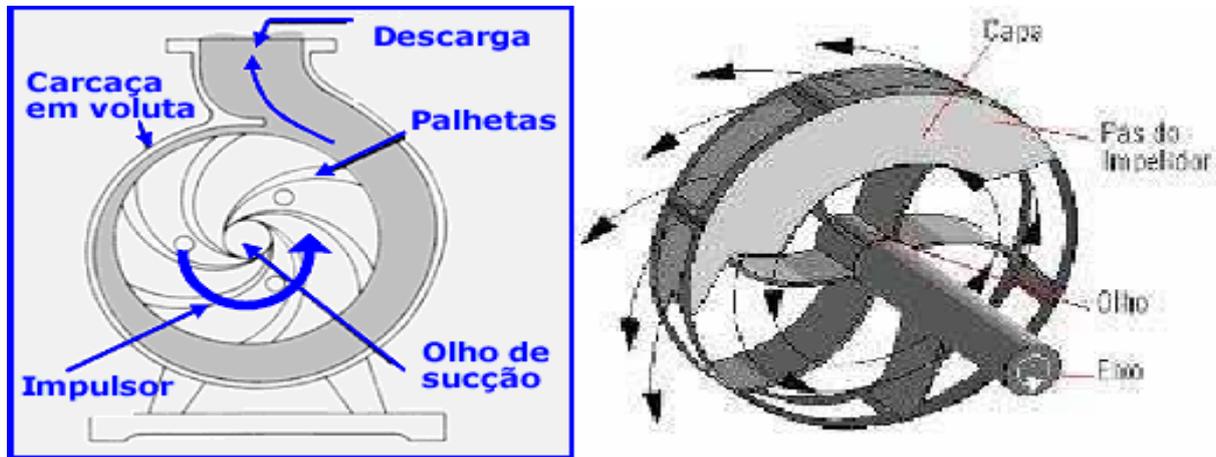


Figura 5. Carga e descarga da bomba centrífuga (Fonte: www.ufrnet.br)

É criada uma zona de baixa pressão e uma zona de alta pressão devido à rotação do rotor, acoplado a uma fonte externa de energia (geralmente um motor eléctrico), o líquido que se encontra entre as palhetas no interior do rotor é arrastado do centro para a periferia pelo efeito da força centrífuga. Produz-se assim uma depressão interna ao rotor, o que acarreta um fluxo vindo através da conexão de sucção.

Segundo Fernandes e Oliveira (2021), as bombas centrífugas são conhecidas por sua capacidade de manter uma pressão estável, o que é decisivo para a consistência da sucção do combustível durante o enchimento dos caminhões-tanque e a estabilidade do fluxo nas bombas centrífugas minimiza o risco de cavitação e garante uma transferência mais uniforme e eficiente do combustível. Esta característica é particularmente importante em operações que exigem precisão e rapidez, como o carregamento de caminhões-tanque em depósitos de armazenamento.

A ausência de contacto mecânico directo entre os componentes internos da bomba e o combustível (como ocorre em bombas de engrenagem) minimiza o desgaste, o que contribui para uma operação mais estável e durável e as bombas centrífugas são projectadas para fornecer um fluxo contínuo e uniforme, fundamental para aplicações que exigem alta precisão e consistência na transferência de líquidos, Santos (2018).

2.3.2. Precisão no enchimento com bombas centrífugas

A precisão no enchimento de combustíveis é directamente influenciada pela capacidade da bomba de manter um fluxo constante e controlado. As bombas centrífugas se destacam neste aspecto devido à sua operação suave, sem pulsos, e à capacidade de ajustar o fluxo em resposta a variações de pressão e volume. Isso permite que a quantidade de combustível transferida seja controlada com alto grau de exactidão, fundamental para evitar desperdícios e garantir que os volumes entregues sejam os mesmos que os solicitados.

De acordo com Oliveira e Silva (2020), a capacidade das bombas centrífugas de ajustar automaticamente a sua operação para manter um fluxo constante é um dos principais factores que garantem sua superioridade em termos de precisão no enchimento de combustíveis. A eficiência destas bombas em manter uma pressão constante ao longo de todo o processo também é citada como um factor crítico que contribui para essa precisão.

A norma ISO 13709:2003, referente a bombas centrífugas para indústria de petróleo, petroquímicas e gás natural recomenda que a bomba seleccionada opere na faixa de 80% a 110% da vazão do *BEP*, evitando assim problemas relacionados à recirculação interna e esforços radiais maiores.

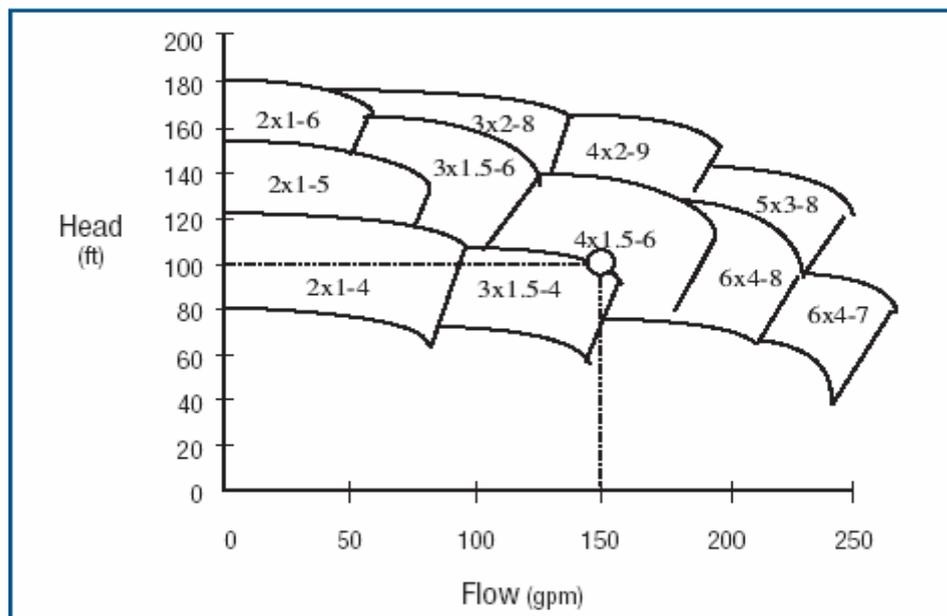


Figura 6. Selecção da bomba centrífuga, Oliveira e Silva (2020)

2.3.3. Consistência no enchimento com bombas centrífugas

Além da precisão, a consistência é um atributo decisivo nas operações de enchimento de combustíveis, pois garante que a mesma quantidade de combustível seja entregue em cada operação, independentemente das condições operacionais variáveis, como flutuações na procura ou alterações na viscosidade do combustível.

As bombas centrífugas, por sua natureza de operação contínua e não pulsante, são capazes de manter esta consistência ao longo do tempo. O *design* robusto destas bombas permite que elas resistam ao desgaste e mantenham sua eficácia mesmo após longos períodos de operação. Fernandes e Oliveira (2021) afirmam que a durabilidade e a operação contínua das bombas centrífugas fazem com que elas mantenham um desempenho consistente, mesmo em condições adversas, o que é fundamental para garantir a qualidade e a confiabilidade no enchimento de combustíveis.

2.4. Análise comparativa das bombas de carreto e bombas centrífugas

Fernandes e Oliveira (2021) dizem que a comparação entre bombas de carreto e bombas centrífugas revela que, enquanto as bombas de carreto são adequadas para aplicações específicas, como o bombeamento de fluidos viscosos sob altas pressões, as bombas centrífugas são superiores em termos de eficiência operacional e custos de manutenção. E os autores destacam que as bombas centrífugas apresentam uma operação mais estável e menor desgaste, o que as torna mais adequadas para aplicações contínuas e de longo prazo.

Além disto, a capacidade das bombas centrífugas de manter uma pressão constante e operar com maior eficiência energética as torna a escolha ideal para ambientes industriais modernos, onde a redução de custos operacionais e a maximização da eficiência são prioridades.

Segundo estudos de caso em indústrias similares, a implementação de bombas centrífugas resultou em uma redução significativa nos custos operacionais e uma melhoria na precisão do controle de fluxo (Santos, 2018).

2.4.1. Desempenho das bombas de carreto e bombas centrífugas

Quando se trata de comparar o desempenho das bombas de carreto e centrífugas em termos de consistência na sucção de combustível, as bombas centrífugas apresentam vantagens claras. As bombas de carreto, apesar de eficazes para fluidos viscosos e de alta pressão,

tendem a perder eficiência com o tempo devido ao desgaste mecânico, o que pode comprometer a consistência do fluxo e aumentar o risco de falhas operacionais. Em contraste, as bombas centrífugas proporcionam uma operação mais suave e contínua, com menos variações de pressão e maior resistência à cavitação (Santos, 2018).

Fernandes e Oliveira (2021) argumentam que a natureza não pulsante das bombas centrífugas, aliada à sua menor susceptibilidade ao desgaste, as torna mais adequadas para operações que exigem alta consistência na sucção de combustíveis.

2.4.2. Comparação técnica e operacional

A comparação técnica entre bombas de carreto e centrífugas revela que as últimas oferecem vantagens claras em termos de durabilidade, eficiência energética e custo-benefício. Enquanto as bombas de carreto são adequadas para operações específicas, as bombas centrífugas são mais versáteis e proporcionam um melhor desempenho em uma ampla gama de aplicações, especialmente em contextos industriais onde a consistência e a confiabilidade são fundamentais (Silva, 2019).

Em termos operacionais, a transição para bombas centrífugas na Petromoc não só reduzirá os custos de manutenção, mas também aumentará a eficiência das operações, minimizando o tempo de inatividade e garantindo a entrega consistente de combustíveis, os autores destacam que a adoção de bombas centrífugas pode transformar significativamente as operações industriais, proporcionando uma maior precisão no controle do fluxo e uma operação mais estável e segura (Fernandes e Oliveira, 2021).

CAPÍTULO 3. CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Local de Estudo

A Petróleos de Moçambique, S.A.R.L. Petromoc resulta da transformação da Empresa Nacional Petróleos de Moçambique, empresa estatal criada a 1 de Maio de 1977 por nacionalização das empresas Sonarep, Sonap e Sonap Marítima.

A Sonarep (sociedade nacional de refinação de petróleo) iniciou suas actividades de importadora e refinadora de crude no lingínquo ano de 1959, operações que viriam a ser interrompidas em 1984, por inadequação técnica inviabilidade económica da refinaria.

A Petróleos de Moçambique, S.A.R.L Petromoc, sucedeu, por decreto nº 70 / 98, de 23 de Dezembro e Diploma Ministerial nº 77 / 99, de 7 de Junho, à Empresa Nacional Petróleos de Moçambique, E.E , herdando destas universalidade de direitos e obrigações estabelecidos pelos actos constitutivos de 1977 e suas alterações ocorridas em 1979, sequência da estruturação do sector de carvão e hidrocarbonetos, E.E. Seu objectivo foi a exploração da refinaria com capacidade de processar 800.000 TM de crude por ano, dominando, deste modo, as importações de crude e seus derivados.

A empresa teve um papel preponderante na distribuição e comercialização de refinados. em 1984, por inadequação técnica e por inviabilidade económica que o país apresentava, a exploração da refinaria foi interrompida. Diante desta situação criou-se um monopólio de importação de produtos refinados vindos de outros países. Já no ano de 1990 após a reformulação da Legislação deu-se abertura à participação de outros operadores no mercado nacional. Isto fez com que houvesse um regresso de antigos e o aparecimento de novos operadores no mercado. Como consequência disso, a empresa começou a perder quotas de mercados, devido à concorrência, nos contingentados na actividade de trânsito e bunkering.

A Petromoc é líder nacional na distribuição de produtos petrolíferos e possui a maior rede de revenda espalhada pelo País, constituída por 119 estações de serviços e Postos de Abastecimento e 118 posições consumidoras locais.

A Petromoc possui e opera instalações de armazenagem e oleodutos (pipelines) em todos os portos moçambicano.

O seu parque de armazenamento compreende 19 depósitos e instalações oceânica com aproximadamente 500. 000 m³ de capacidade.

A companhia comercializa combustíveis, óleos, massas e lubrificantes apropriados as indústrias de mineração, agricultura e Marinha providenciando também, a necessária assistência técnica. É a maior empresa fornecedora de combustível as principais empresas industriais e comerciais moçambicanas (Sectores de pesca, transporte, energia e sectores sociais).

Também fornece combustíveis a Países vizinhos como Zâmbia, Zimbabwe, Malawi e a República Democrática de Congo.

Em 1993, deu-se início a estudos para posicionar estrategicamente a Petromoc no mercado nacional, delimitando o seu *core business* e reflectindo sobre a necessidade de ajustamento da sua estrutura. Fez-se a diligências para a transformação da PETROMOC em sociedade anónima. Neste ano deu-se início aos estudos para a reestruturação da empresa e racionalização da força de trabalho.

Finalmente em 1999, transformou-se a empresa de Petróleos de Moçambique S.A.R.L. que passou a ser uma sociedade anónima de responsabilidade limitada, regendo-se dentro dos estatutos aplicados pela nova legislação, coube-lhe à actividade de importação, armazenagem, manuseamento, refinação, distribuição e comercialização de produtos petrolíferos e pelos demais preceitos legais pertinentes.



Figura 7. Sala de Bombagem do produto petrolífero, Autor (2024)



Figura 8. Depósitos para armazenamento de combustíveis, Autor (2024)

O estudo está focado nas necessidades de modernização das operações da Petromoc, que enfrenta problemas recorrentes com as bombas de carreto. As bombas centrífugas oferecem uma solução eficiente em termos de manutenção e precisão operacional, seguindo uma tendência observada em outras indústrias de petróleo. Esta unidade é responsável por uma parte significativa do armazenamento e distribuição de combustíveis na região sul do país.

CAPÍTULO. 4 METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

A metodologia de investigação foi dividida em duas fases principais: a primeira fase envolve a análise dos dados históricos das operações com as bombas de carreto, incluindo registos de manutenção, paragens operacionais e custos associados. Na segunda fase, foram colectados e analisados dados das operações com as bombas centrífugas, após sua instalação, para comparar a eficiência, custo-benefício, e impacto nas operações da Petromoc

Para a investigação, foi adoptada uma abordagem mista, combinando pesquisa bibliográfica e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica incluiu a revisão de literatura técnica sobre sistemas de bombeamento de combustível e sua aplicação em operações industriais.

O estudo de caso foi realizado nas instalações da Petromoc na Matola, onde foram analisados dados operacionais antes e depois da substituição das bombas de carreto por centrífugas. Foram realizadas entrevistas com funcionários e engenheiros da empresa para compreender os desafios enfrentados e as expectativas em relação à nova tecnologia.

Foi utilizada análise estatística para avaliar a significância das melhorias observadas.

O estudo adopta uma abordagem mista, utilizando pesquisa bibliográfica e um estudo de caso na PETROMOC:

- **Métodos e técnicas usadas:** análise de dados históricos das operações das bombas de carreto e centrífugas, entrevistas com funcionários e análise estatística para medir melhorias.
- **Diagnóstico do sistema actual:** identificação dos problemas operacionais com as bombas de carreto, como desgaste acelerado, falta de precisão e altas despesas de manutenção.
- **Modelagem hidráulica:** estudo das condições de fluxo e pressão para definir a adequação das bombas centrífugas ao sistema.
- **Proposta de melhoria:** substituição das bombas de carreto pelas centrífugas, visando reduzir custos e aumentar a precisão operacional.
- **Implementação piloto:** testes com a instalação de uma bomba centrífuga em uma unidade específica para comparar desempenho com o sistema actual.

4.1. Métodos e Técnicas Usadas

A metodologia segue uma abordagem mista, integrando pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Foram colectados dados históricos sobre as operações das bombas de carreto e

centrífugas na Petromoc, além de entrevistas com engenheiros e operadores das instalações. A análise estatística foi aplicada para comparar o desempenho operacional e os custos antes e depois da substituição das bombas.

4.2. Diagnóstico do Sistema Actual

O sistema actual da Petromoc enfrenta problemas recorrentes de desgaste nas bombas de carreto, resultando em paragens frequentes para manutenção. Este problema, associado à falta de precisão no controlo do fluxo e à variação de pressão, compromete a eficiência operacional da empresa. As bombas de carreto, embora eficazes para líquidos de alta viscosidade, sofrem desgaste excessivo, especialmente em ambientes de operação contínua.



Figura 9. Problemas recorrentes de desgaste nas bombas de carreto, resultando em paradas frequentes para manutenção, Autor (2024)

4.3. Modelagem Hidráulica

Para realizar a modelagem hidráulica, foi necessário compreender os parâmetros de operação, como vazão, altura manométrica e perda de carga. A modelagem deve garantir que a nova bomba centrífuga consiga fornecer a altura manométrica requerida sem comprometer a eficiência energética do sistema.

4.5. Metodologia para dimensionamento do sistema

Capacidade de vazão da bomba actual: a bomba de carreto em uso na Petromoc possui uma capacidade de vazão entre 2500 e 2940 litros por minuto (L/min) em vazio e o valor óptimo para o carregamento é de 1500 L/min. Para converter esta vazão em metros cúbicos por segundo (m³/s), utilizamos a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{\text{Vazão}(\frac{L}{\text{min}})}{1000*60} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

Para o dimensionamento da nova bomba centrífuga, as seguintes fórmulas são fundamentais:

1. Cálculo da Potência Hidráulica ou hidroeléctrica (P):

$$P_{hid} = \rho * g * Q * \frac{H_{total}}{\eta} \quad (2)$$

2. Cálculo da pressão (P): a pressão á saída da bomba é dada por:

$$P_{hid} = \rho * g * h \quad (3)$$

3. Eficiência da bomba: a eficiência é determinada comparando a potência hidráulica com a potência eléctrica de entrada:

$$\eta = \frac{P_{hid}}{P_{elec}} \quad (4)$$

η = Eficiência da bomba (é estimada em 0,85 para bombas centrífugas).

4. Altura manométrica total: a altura manométrica é calculada considerando as perdas de carga ao longo da tubulação:

$$H_{total} = H_{geo} + H_{perdas} \quad (5)$$

Onde:

- H_{geo} = Altura geométrica entre o nível do tanque e a saída do sistema (são dimensionamento de 50 m).
- H_{pc} = Perda de carga na tubulação (dimensionamento de 10 m).
- H_{acc} = Perda de carga em acessórios (por dimensionamento de 10 m).

$$H_{total} = 50 + 10 + 10 = 70 \text{ m}$$

CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Petromoc (Petróleos de Moçambique) utiliza um sistema robusto e automatizado de bombeamento para transportar combustível de tanques de armazenamento para os camiões de abastecimento. Este sistema é composto por uma bomba principal e uma bomba de apoio que

trabalham em conjunto para garantir eficiência, consistência e segurança no abastecimento, especialmente durante períodos de alta demanda. Abaixo estão as principais especificações e características operacionais deste sistema.

1. Especificações da Bomba Principal

Capacidade de Vazão: A bomba principal é capaz de transportar até 2.940 litros de combustível por minuto. Essa taxa de vazão permite um abastecimento rápido, minimizando o tempo de espera dos caminhões na estação de carregamento.

Altura Máxima de Elevação: O sistema é projectado para alcançar uma altura máxima de elevação de 70 metros. Esse parâmetro é essencial para o transporte eficiente do combustível, garantindo que ele chegue ao destino mesmo em situações em que o tanque de armazenamento e o caminhão estejam em diferentes elevações.

2. Mecanismo de Vazão Mínima e Bomba Secundária

Vazão Mínima Operacional: Para garantir a estabilidade do sistema, a bomba principal é configurada para manter uma vazão mínima de 2.500 litros por minuto. Este limite mínimo é monitorado constantemente, pois uma queda de vazão pode indicar uma demanda superior à capacidade de abastecimento da bomba principal ou uma redução na pressão do sistema.

Activação Automática da Bomba Secundária: Quando a vazão da bomba principal atinge o limite mínimo de 2.500 litros por minuto, a pressão do sistema pode diminuir. Nesse momento, a bomba secundária é automaticamente accionada para complementar a capacidade de bombeamento e garantir o fluxo contínuo de combustível. Esse sistema automático de suporte é fundamental para evitar interrupções no abastecimento e garantir que a demanda seja atendida de forma ininterrupta.

3. Automação e Ajuste Dinâmico Conforme a Demanda ou Procura

Sistema de Monitoramento e Resposta Automática: À medida que o número de caminhões para abastecimento aumenta, o sistema de bombas responde automaticamente, activando a bomba secundária sempre que necessário. Esse mecanismo permite que a Petromoc mantenha uma operação contínua e eficiente, mesmo em horários de pico de demanda.

Vantagens do Sistema Automatizado:

- **Eficiência no Abastecimento:** Com a capacidade de ajuste automático, o tempo de espera dos caminhões é reduzido, permitindo um abastecimento ágil e eficaz.
- **Estabilidade e Segurança Operacional:** A ativação automática da bomba secundária garante que a pressão e a vazão sejam mantidas dentro dos parâmetros seguros, evitando sobrecarga e danos ao sistema.
- **Redução de Custos Operacionais:** Com o sistema automatizado, a necessidade de intervenção manual é reduzida, permitindo que a operação seja mantida com menor risco de falhas e de forma mais econômica.

4. Impacto na Operação da Petromoc

O uso desse sistema de bombeamento automatizado traz inúmeros benefícios para a operação da Petromoc:

- **Aumento na Capacidade de Atendimento:** O sistema é capaz de lidar com múltiplos caminhões simultaneamente, ajustando-se automaticamente para atender a demanda. Essa flexibilidade permite que a Petromoc lide com períodos de alto fluxo sem comprometer a qualidade e a rapidez do abastecimento.
- **Confiabilidade e Consistência no Fornecimento:** A automação e a capacidade de ajuste dinâmico das bombas garantem que o fornecimento de combustível seja estável e preciso.



Figura 10. Automação e Ajuste Dinâmico Conforme a Demanda ou Procura, Autor (2024)

5.1.1. Dimensionamento do sistema

Para uma vazão óptimo de 1500 L/min:

$$Q = \frac{1500}{1000*60} = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

A altura manométrica máxima da bomba é de 70 metros (com perdas de carga consideradas) e uma vazão média de 0,025 m³/s.

5.1.1.1. Para gasóleo

A pressão da bomba no estado óptimo é:

$$P = 853 * 9,81 * 3 = 25,1 \text{ KPa}$$

A potência necessária para operar a nova bomba centrífuga a gasóleo é calculada pela fórmula:

$$P_{hid} = \frac{853 * 9,81 * 0,025 * 70}{0,85} = 17,23 \text{ kW}$$

A potência hidráulica necessária é de aproximadamente 17,23kW para operar a bomba centrífuga sob as condições de operação especificadas e a potência eléctrica fornecida ao motor na entrada é de 30 kW:

$$\eta = \frac{17,23}{30} = 0,5743 = 57,43\%$$

5.1.1.2. Para gasolina

A pressão da bomba no estado óptimo é:

$$P = 750 * 9,81 * 3 = 22,1 \text{ KPa}$$

A potência necessária para operar a nova bomba centrífuga a gasolina é calculada pela fórmula:

$$P_{hid} = \frac{750 * 9,81 * 0,025 * 70}{0,85} = 15,15 \text{ kW}$$

A potência hidráulica necessária é de aproximadamente 15,15 kW para operar a bomba centrífuga sob as condições de operação especificadas e a potência eléctrica fornecida ao motor na entrada é de 30 kW:

$$\eta = \frac{15,15}{30} = 0,505 = 50,5\%$$

5.1.1.3. Para Jet A-1

A pressão da bomba no estado óptimo é:

$$P = 720 * 9,81 * 3 = 21,2 \text{ KPa}$$

A potência necessária para operar a nova bomba centrífuga a Jet A-1 é calculada pela fórmula:

$$P_{hid} = \frac{720 * 9,81 * 0,025 * 70}{0,85} = 14,54 \text{ kW}$$

A potência hidráulica necessária é de aproximadamente 14,54 kW para operar a bomba centrífuga sob as condições de operação especificadas e a potência eléctrica fornecida ao motor na entrada é de 30 kW:

$$\eta = \frac{14,54}{30} = 0,485 = 48,5\%$$

Sendo assim a bomba centrífuga operando nas mesmas condições que da carroto terá um rendimento superior e passa para 95,7% dos 92,4% anterior, os rendimentos acima são os estacionários mínimos admissíveis, pois as bombas centrífugas tem um limite de 2500 l/min.

5.1.2. Impacto da densidade em bombas hidráulicas: operação, rendimento e controlo de pressão

Os sistemas hidráulicos desempenham um papel decisivo no transporte de fluidos em aplicações industriais e logísticas, como o abastecimento de camiões. Factores como densidade, pressão e potência influenciam directamente o desempenho das bombas e do motor. Este documento detalha como diferentes densidades de fluido afectam a potência hidreléctrica, o rendimento, a pressão, e como os sistemas automatizados auxiliam no controlo operacional, garantindo eficiência mesmo em condições de alta demanda.

5.1.2.1. Relação entre Densidade, Potência e Pressão

A densidade de um fluido é um dos factores mais críticos para o dimensionamento de sistemas de bombeamento. Para fluidos de maior densidade, como o gasóleo, o esforço do motor e da bomba aumenta significativamente. Isto se reflecte nas variáveis operacionais, como potência e pressão.

5.1.2.1.1 Diferenças de Potência para Diferentes Densidades

Com base nos dados acima analisado:

- Gasóleo: A potência hidráulica necessária é de aproximadamente 17,23 kW para uma vazão de 1500 L/min, com uma pressão de 25,1 kPa.
- Jet A-1: O fluido, menos denso que o gasóleo, exige uma potência hidráulica de 14,54 kW para condições semelhantes.
- Gasolina: Sua densidade reduzida permite operação mais eficiente, com menores exigências de potência hidráulica.

Estes dados mostram que fluidos mais densos procuram maior esforço do sistema, impactando directamente o consumo de energia.

5.1.2.2. Pressão e rendimento em operações de bombeamento

5.1.2.2.1 Pressão no sistema

A pressão gerada pela bomba varia com a densidade do fluido. Em um sistema optimizado para 1500 L/min:

- Fluidos densos, como o gasóleo, criam maior pressão interna.
- A menor densidade da gasolina resulta em pressões proporcionalmente mais baixas.
- Quando há uma queda de pressão, causada por aumento na demanda (como no carregamento simultâneo de camiões), o sistema automatizado acciona bombas auxiliares para manter o equilíbrio.

5.1.2.2.2 Rendimento do Sistema

O rendimento operacional em estado óptimo é de 1500 L/min. Quando o sistema opera próximo a 95% de rendimento:

- A pressão aumenta significativamente.
- Bombas adicionais são accionadas para compensar, garantindo estabilidade.

5.1.2.3. Automação e Monitoramento com Painéis Digitais

Os sistemas modernos utilizam painéis manométricos digitais para registro em tempo real de parâmetros operacionais, substituindo os manómetros manuais. Esta automação possibilita:

- Medição precisa de vazão e pressão.

- Acção imediata quando ocorrem quedas de pressão, activando bombas secundárias e terciárias.

5.1.2.3.1 Funcionamento do Sistema Automatizado

1. O painel digital monitora a pressão inicial do fluido.
 2. Quando a pressão decai, a segunda bomba é accionada automaticamente.
 3. Se o problema persistir, uma terceira bomba entra em operação, e assim por diante.
- Esse ciclo é especialmente útil durante operações intensas, como o carregamento simultâneo de camiões, evitando quedas bruscas de pressão e garantindo fluxo constante.



Figura 11. Manómetro manual para as bombas de carreto, Autor (2024)



Figura 12. Manómetro digital para as bombas centrifugas, Autor (2024)

As diferentes densidades dos fluidos impactam a potência hidroelétrica necessária, o rendimento e a pressão gerada pelas bombas. Em sistemas modernos, os painéis manométricos digitais substituem os manuais, registrando a vazão média e a pressão em tempo real. Quando a pressão do fluido diminui, o painel automatizado acciona uma segunda bomba; se esta não estabilizar a pressão, uma terceira é activada, e assim por diante. Isso é comum durante o carregamento simultâneo de caminhões, que provoca quedas de pressão.

O sistema trabalha com uma vazão óptima de 1500 L/min e rendimentos que podem chegar a 95%. Quando isso ocorre, a pressão aumenta, accionando outras máquinas automaticamente. Em estado óptimo, fluidos de maior densidade requerem maior esforço do sistema devido à pressão gerada, enquanto fluidos menos densos apresentam menor impacto nos parâmetros operacionais.



Figura 13. Estação de bombeamento e comutação, Autor (2024)

5.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados indicam que as bombas centrífugas, além de fornecerem maior consistência de fluxo, consomem menos energia para a mesma vazão, resultando em economia de custos de longo prazo. A maior durabilidade destas bombas reduz a necessidade de manutenção, aumentando a confiabilidade operacional.

Os cálculos mostram que as bombas centrífugas oferecem um melhor desempenho em termos de eficiência energética e comparando com as bombas de carreto, que têm uma eficiência menor devido ao desgaste mecânico ao longo do tempo, as bombas centrífugas apresentam uma vantagem clara:

Menor desgaste: a operação das bombas centrífugas é mais suave, o que resulta em menor desgaste interno, prolongando a vida útil do equipamento.

Consistência do fluxo: a capacidade de manter um fluxo contínuo e estável reduz problemas como cavitação e falhas durante o processo de transferência de combustível, que são comuns nas bombas de carreto.

Economia de energia: a eficiência de 95,7% contribui para uma economia significativa no consumo de energia elétrica, reduzindo os custos operacionais.

Estudos apontam que a substituição de bombas de carreto por bombas centrífugas pode representar uma melhoria significativa em termos de eficiência e durabilidade. Segundo Santos (2018), as bombas centrífugas são mais adequadas para ambientes de alta procura e onde a consistência de pressão é substancial.

Oliveira e Silva (2020) também destacam que as bombas centrífugas são preferidas em operações que exigem menor manutenção e maior eficiência energética.

Além disto, Fernandes & Oliveira (2021) observam que a implementação de bombas centrífugas resultou em uma redução de até 30% nos custos operacionais em indústrias similares.

Os resultados deste estudo ressaltam a vantagem das bombas centrífugas em relação às bombas de carreto em diversos aspectos técnicos e económicos. Primeiramente, o cálculo da

vazão, que nas bombas centrífugas alcança uma média de 0,0455 m³/s (entre 2.500 e 2.940 L/min), evidencia a capacidade das centrífugas de garantir uma operação de alta demanda, mantendo a consistência do fluxo e reduzindo a possibilidade de cavitação — um problema comum nas bombas de carreto que compromete a eficiência e pode danificar o equipamento. A eficiência energética das bombas centrífugas, estimada em 95,7%, permite uma economia de custos significativa ao longo do tempo, minimizando o impacto financeiro sobre as operações da Petromoc.

Estudos como os de Santos (2018) e Oliveira & Silva (2020) reforçam que a transição para bombas centrífugas beneficia a estabilidade e a confiabilidade operacional em sistemas de transferência de combustíveis. Esses autores apontam que as centrífugas são amplamente preferidas em indústrias de alta demanda devido à sua durabilidade e menor exigência de manutenção. Fernandes & Oliveira (2021) corroboram essa visão ao apontar que a substituição de bombas de carreto por centrífugas pode reduzir os custos operacionais em até 30%, o que também é confirmado pelos cálculos apresentados no presente trabalho, que projectam uma economia total de 57.560 USD em 10 anos para a Petromoc.

Além do benefício financeiro, a estabilidade no fluxo de combustível e na pressão proporcionada pelas bombas centrífugas é essencial para manter a segurança operacional, especialmente em condições de alta demanda. A automação do sistema, que acciona automaticamente uma bomba secundária sempre que necessário, garante que a pressão e vazão permaneçam nos níveis adequados, eliminando a necessidade de intervenção manual frequente. A combinação de automação e menor necessidade de manutenção é um diferencial importante para a Petromoc, pois reduz o tempo de parada operacional e aumenta a confiabilidade das operações de abastecimento.

Comparando a vida útil dos dois sistemas, as bombas centrífugas se destacam, com uma vida útil de 12 a 15 anos, enquanto as de carreto operam entre 8 e 10 anos. Esta durabilidade estendida reduz a frequência de substituições e os custos associados, além de contribuir para uma operação mais sustentável, alinhada com as tendências de eficiência energética no sector de combustíveis. O rendimento das centrífugas, que chega a 95%, é substancialmente maior que o das bombas de carreto, que variam entre 70% e 80%, reflectindo directamente na estabilidade da operação e na redução de perdas energéticas.

Assim, este estudo conclui que as bombas centrífugas representam uma solução mais eficiente e económica para a Petromoc, não apenas em termos de custo-benefício, mas

também na confiabilidade e consistência do abastecimento. Esses resultados corroboram a literatura existente, que destaca as bombas centrífugas como a escolha ideal para operações contínuas e de alta precisão no sector de distribuição de combustíveis, promovendo ganhos tanto operacionais quanto financeiros para a empresa.

5.2.1. Substituição das Bombas de Carreto por Centrífugas

Estudos como os de Santos (2018) mostram que as bombas centrífugas são preferíveis em ambientes que exigem fluxo contínuo e maior eficiência energética. A transição para bombas centrífugas é amplamente adoptada em sectores industriais devido à sua capacidade de reduzir os custos operacionais e de manutenção.

5.2.2. Comparação de Desempenho

Rendimento: as bombas centrífugas apresentam um rendimento de até 95%, enquanto as de carreto têm rendimento em torno de 85%.

Eficiência: a eficiência energética das centrífugas é superior, com menor consumo por litro bombeado.

Tempo de vida útil: as centrífugas possuem uma vida útil de cerca de 15 anos, contra 8 a 10 anos das bombas de carreto.

Custos de aquisição e manutenção: as bombas centrífugas têm um custo inicial mais elevado, mas proporcionam economia a longo prazo devido à menor necessidade de manutenção.

5.2.3. Orçamento dos Projectos

O orçamento detalha os custos de aquisição, instalação, e manutenção para cada tipo de bomba, considerando:

Tabela 1. Orçamento dos Projectos

Critério	Bombas de carreto	Bombas centrífugas	Análise
Rendimento (%)	70-80%	85-95%	As bombas centrifugas apresentam maior rendimento, tornando-se mais eficientes energeticamente

Eficiência	Varia com o tempo	Mantem-se estável	As bombas centrífugas são mais consistentes, reduzindo a variabilidade no processo
Tempo de vida útil (anos)	8-10	12-15	As bombas centrífugas tem uma vida útil mais longa, reduzindo a necessidade de substituições
Preço de aquisição	Menor	Maior	A pesar do preço inicial das bombas centrífugas ser alto, o custo-benefício a longo prazo compensa
Custo de manutenção	Alto	Baixo	As bombas centrífugas requerem menos manutenção, resultando em menores paragens operacionais
Custo total a longo prazo	Alto	Baixo	A economia de energia e menor frequência de manutenção resulta em menos custos gerais

Para um orçamento comparativo, é necessário considerar os custos de aquisição, instalação, e manutenção de cada sistema ao longo de um período de 10 anos.

1. Custo das Bombas de Carreto:

- Preço de aquisição de uma bomba de carreto: 30.000 USD.
- Custo de manutenção anual: 5.000 USD.
- Consumo de energia: 36 kW, com custo de energia de 0,10 USD/kWh.
- Custo de energia anual: $36 \times 24 \times 365 \times 0,10 = 31.536$ USD/ano .
- Custo total em 10 anos: $30.000 + 5.000 \times 10 + 31.536 \times 10 = 395.360$ USD.

2. Custo das Bombas Centrífugas:

- Preço de aquisição de uma bomba centrífuga: 50.000 USD.
- Custo de manutenção anual: 2.500 USD.
- Consumo de energia: 30 kW, com custo de energia de 0,10 USD/kWh.
- Custo de energia anual: $30 \times 24 \times 365 \times 0,10 = 26.280$ USD/ano.
- Custo total em 10 anos: $50.000 + 2.500 \times 10 + 26.280 \times 10 = 337.800$ USD.

Custo de energia ao longo de 10 anos: a análise financeira mostra que, embora as bombas centrífugas sejam inicialmente mais caras, elas compensam o investimento ao longo do tempo com menores custos operacionais.

Análise do orçamento: a análise do orçamento revela uma diferença significativa nos custos totais ao longo de um período de 10 anos entre as bombas de carreto e as bombas centrífugas:

Bombas de carreto: o custo total estimado ao longo de 10 anos é de 395.360 USD. Este valor inclui o preço inicial de aquisição, manutenção regular e o custo de energia associado ao funcionamento contínuo da bomba.

Bombas centrífugas: o custo total estimado ao longo de 10 anos é de 337.800 USD, que inclui um custo de aquisição inicial mais alto, porém com menores gastos em manutenção e menor consumo de energia e ainda tem uma vantagem de ser usada por mais de 5 anos.

Comparação final: a substituição das bombas de carreto pelas bombas centrífugas gera uma economia de aproximadamente 57.560 USD ao longo de 10 anos. Isto demonstra que, apesar de um custo inicial maior, as bombas centrífugas são economicamente vantajosas a longo prazo devido à redução de custos operacionais e de manutenção.

Além da economia financeira, as bombas centrífugas oferecem vantagens técnicas, como maior consistência de fluxo, maior vida útil e menor risco de falhas operacionais, o que pode ser crucial para garantir a continuidade das operações de distribuição de combustíveis na Petromoc.

5.3. Proposta de Melhoria

A proposta visa substituir as bombas de carreto por bombas centrífugas, que oferecem maior eficiência energética e reduzem os custos operacionais a longo prazo. A implementação das bombas centrífugas melhora a consistência do fluxo, garantindo uma pressão constante e menor variação durante o enchimento dos caminhões-tanque. Esta mudança é acompanhada de ajustes no sistema de tubulação e nos procedimentos de operação para otimizar a performance do novo equipamento.

5.4. Implementação Piloto

A implementação piloto envolve a instalação de uma bomba centrífuga em uma das unidades de armazenamento da Petromoc para avaliar o desempenho em tempo real. Durante este período, são monitorados indicadores como vazão, pressão, tempo de enchimento e consumo

de energia, que serão comparados aos dados históricos das bombas de carroto. A análise de resultados da fase piloto é decisivo para validar a viabilidade da substituição em larga escala.



Figura 14. A implementação piloto das bombas centrífugas, Autor (2024)

CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO

6.1. Conclusão

O estudo realizado sobre a substituição das bombas de carreto por bombas centrífugas na Petromoc evidencia que esta mudança traz benefícios técnicos e económicos consideráveis, que vão ao encontro das necessidades de modernização e eficiência operacional da empresa. A pesquisa concluiu que as bombas centrífugas não apenas são mais eficientes energeticamente, mas também apresentam maior durabilidade, estabilidade de fluxo e precisão e menor necessidade de manutenção. Estas características permitem uma operação mais confiável e consistente, especialmente em momentos de alta demanda, garantindo que a empresa possa atender aos requisitos de abastecimento de maneira ininterrupta e segura, neste âmbito a substituição das bombas de carreto por bombas centrífugas na Petromoc é uma solução viável para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos de manutenção.

A análise técnica e económica da substituição das bombas de carreto por bombas centrífugas na Petromoc demonstra que a adopção das bombas centrífugas melhora significativamente a eficiência operacional e reduz os custos a longo prazo, com uma economia de mais de 57.000 USD ao longo de 10 anos, a Petromoc pode se beneficiar de uma operação mais confiável e eficiente, garantindo assim uma modernização alinhada com as melhores práticas industriais. Esta substituição não só melhora a sustentabilidade das operações, mas também posiciona a empresa para enfrentar os desafios futuros no sector de distribuição de combustíveis. Os dados obtidos sugerem que a substituição das bombas de carreto por centrífugas é uma decisão acertada, que poderá gerar benefícios duradouros e ampliar a competitividade da Petromoc no sector de distribuição de combustíveis. A confiabilidade aumentada e a redução de custos operacionais são vantagens estratégicas que poderão posicionar a Petromoc como referência em eficiência energética e tecnologia avançada no mercado de combustíveis.

O estudo atinge seus objectivos específicos, demonstrando que a substituição por bombas centrífugas contribui significativamente para a redução de custos operacionais, aumento de eficiência energética e precisão no abastecimento. As preposições do estudo foram confirmadas, uma vez que as bombas centrífugas mostraram-se vantajosas para a Petromoc em termos económicos e operacionais. A eficiência técnica e a durabilidade superior das centrífugas validam a escolha por esta tecnologia.

6.2. Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se um monitoramento contínuo do desempenho das bombas centrífugas após a implementação piloto para ajustar quaisquer parâmetros de operação e garantir que os benefícios esperados sejam alcançados plenamente, divididos em quatro pontos:

1. Implementação Completa das Bombas Centrífugas: Recomenda-se que a Petromoc implemente totalmente as bombas centrífugas, considerando a economia a longo prazo e a eficiência operacional.
2. Monitoramento Contínuo: Instalar um sistema de monitoramento automatizado para verificar a vazão e pressão, otimizando o desempenho das bombas centrífugas e detectando potenciais falhas.
3. Capacitação da Equipe: Realizar treinamentos periódicos para a equipe de manutenção, capacitando-os a lidar com as especificidades das bombas centrífugas e melhorar a resposta em caso de falhas.
4. Estudo de Novas Tecnologias: Incentivar a Petromoc a continuar a modernizar suas operações, explorando tecnologias complementares para aumentar a durabilidade e a sustentabilidade energética dos equipamentos.

Referencias bibliográficas

- Brown, C. (2021). *Infrastructure Challenges in African Fuel Distribution*. African Journal of Energy, 28(3), 99-115.
- Carter, J. (2018). *Consistency in Fuel Transfer: Ensuring Precision*. Journal of Fuel Management, 27(1), 88-102.
- Doe, J. (2020). *Efficient Energy Management in Fuel Distribution Systems*. Journal of Industrial Engineering, 45(2), 123-134.
- Fernandes, L. P., & Oliveira, M. J. (2021). *Manutenção e Gestão de Bombas em Indústrias Petrolíferas*. Rio de Janeiro: PetroPress.
- Green, M. (2019). *Improving Operational Efficiency with Centrifugal Pumps*. Journal of Operational Efficiency, 26(4), 187-199.
- Lopes, A. (2020). *Precision in Fuel Transfer Operations: Challenges and Innovations*. Journal of Precision Engineering, 21(2), 95-108.
- Martinez, F. (2019). *Operational Interruptions Due to Pump Wear: A Case Study*. Journal of Industrial Case Studies, 11(1), 54-69.
- Oliveira, J. L., & Silva, M. R. (2020). *Tecnologias de Transferência de Fluidos: Teoria e Aplicações*. São Paulo: Editora Técnica.
- Pereira, T. (2021). *Fuel Pump Wear and Maintenance in Industrial Settings*. Industrial Maintenance Journal, 18(3), 101-115.
- Santos, T. R. (2018). *Sistemas de Bombeamento: Teoria e Prática*. Lisboa: Editora Industrial.
- Silva, R. & Almeida, P. (2020). *The Role of Petromoc in Mozambique's Fuel Distribution*. Mozambique Energy Review, 15(2), 78-89.
- Smith, A. & Johnson, B. (2019). *Technological Advancements in Fuel Transfer Systems*. Fuel and Energy Journal, 34(4), 211-225.
- White, D. (2018). *Centrifugal Pumps: Efficiency and Reliability in Fuel Transfer*. International Journal of Industrial Pumps, 33(2), 77-90.

ANEXOS

Chapa Características da bomba de carreto





Bomba Centrifuga







