



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL
PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE-SUL

DIMENSIONAMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA
COMPRESSOR EXAUSTOR DA LOCOMOTIVA U20C-GE

Autor:

Robete Inácio Pereira

Supervisor da UEM

Eng. Roberto Luciano David

Supervisor do Porto e Caminhos-de-Ferro de Moçambique – SUL

Técnico Amalo Mavila

Maputo, Dezembro de 2024



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECANICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL
PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE-SUL

**DIMENSIONAMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA COMPRESSOR
EXAUSTOR DA LOCOMOTIVA U20C-GE**

Autor:

Robete Inácio Pereira

Supervisor da UEM

(Eng^o Roberto Luciano David)

Supervisor do Porto e Caminhos-de-Ferro de Moçambique – SUL

(Técnico Amalo Mavila)

Maputo, Dezembro de 2024



**Dimensionamento de uma bancada de testes para compressor exaustor da
locomotiva U20C-GE**

PEREIRA, ROBETE INÁCIO

TERMO DE ENTREGA DO RELATORIO DE ESTAGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Robete Inácio Pereira, com o código 20165304, entregou no dia ____/____/2024 as três copias do relatório de estagio profissional, intitulado: Dimensionamento De Uma Bancada De Testes Para Compressor Exaustor Da Locomotiva U20c-Ge.

Maputo, _____, _____ de 2024

Chefe da secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Robete Inácio Pereira declaro por minha honra que o presente Relatório de Estágio Profissional 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: _____



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECANICA

**DIMENSIONAMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA COMPRESSOR
EXAUSTOR DA LOCOMOTIVA U20C-GE**

Eu, Robete Inácio Pereira, 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 Roberto David, Supervisor da UEM

Técnico Amalo Mavila, Supervisor da CFM Sul

Membro de Júri 1

Membro de Júri 2

Membro de Júri 3

Maputo, Dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela boa saúde e pelas oportunidades, força de vontade e coragem para superar a todos os desafios

A minha Família, primeiramente aos meus pais José Manuel Pereira (Falecido) e Adelina António Muchanga por todo apoio, conselhos, paciência, compressão, puxões de orelha.

Agradeço também aos meus irmãos Margarida Manuel Pereira, Ana Paula Manuel Pereira (um especial Agradecimento), Farida Manuel Pereira, José Manuel pereira Júnior.

Agradeço a minha namorada Dália Teresa Mondlane, pelo inceptivo, e força para continuar a lutar.

Como nunca se enfrenta uma batalha sozinho, não podia deixar de agradecer de coração aos meus companheiros da trincheira, o Dionísio Langa, Ricardo Andrade, Vânia luke dos santos. Nunca lhes tivera conhecido se não fosse a faculdade, pois durante o período estudantil sempre estiveram la para me ajudar.

Agradeço ao Eng.º Roberto David, docente da UEM, por ter sido o meu supervisor neste trabalho, Não posso deixar de agradecer ao corpo Docente do Departamento de Engenharia Mecânica bem como os supervisores do CFM - Sul. Eles são os responsáveis por tornar esse dia tão prazeroso, e são incontáveis a memórias deles que levo comigo.

Por final, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos e familiares a quem não mencionei, que de uma forma directa ou indirecta me ajudaram bastante e me deram muito apoio. Prometo reconhecer a vossa presença e o vosso esforço expressando a minha maior gratidão por todos vocês.

RESUMO

O presente trabalho de monografia aborda o dimensionamento de uma bancada de testes dos compressores exaustores de locomotiva, um instrumento essencial para o funcionamento seguro e eficiente no sistema ferroviário. O estudo busca atender à necessidade crescente de manutenção e testes dos equipamentos utilizados no transporte ferroviário. Os compressores exaustores desempenham um papel fundamental nos sistemas de freio das locomotivas, influenciando diretamente a sua capacidade de resposta e segurança durante a operação. Diante disso, a realização de testes rigorosos é imprescindível para garantir que esses equipamentos funcionem de maneira eficaz e dentro dos padrões exigidos pela indústria ferroviária. Este estudo foi motivado pela falta de uma bancada adequada para a realização desses testes. O trabalho se inicia com uma revisão da literatura sobre compressores exaustores, abordando seu princípio de funcionamento, tipos e aplicações nas locomotivas. Foram analisados diversos modelos disponíveis no mercado. A partir dessa análise, foi definido um conjunto de requisitos que a bancada de testes deve atender para possibilitar avaliações precisas e confiáveis dos compressores. A metodologia adotada envolveu o levantamento de dados sobre as condições operacionais dos compressores exaustores, incluindo pressões, vazões e temperaturas. Com base nesses dados, utilizou-se softwares de AUTOCAD (Desenho Assistido por Computador) para realizar a modelagem da bancada. Os critérios de dimensionamento envolveram aspectos estruturais e funcionais, focando na segurança do operador e na eficácia do teste. Além da parte técnica, o trabalho ainda discute a viabilidade econômica de ter uma bancada de testes apropriada. A implementação de uma estrutura adequada pode reduzir significativamente os custos com manutenção e aumentar a eficiência operacional das locomotivas, refletindo em benefícios directos para a empresa. Os resultados obtidos mostram que a bancada desenvolvida atende às especificações necessárias e é capaz de realizar os testes de forma precisa, permitindo identificar falhas e prever manutenções antes que eventuais problemas se tornem críticos. Isso não apenas aumenta a segurança da operação ferroviária, mas também contribui para a redução de paradas inesperadas e gastos excessivos com manutenção corretiva. Por fim, o projeto também propõe recomendações para a capacitação dos profissionais que operarão a bancada de testes. Um programa de treinamento específico é fundamental para assegurar que os operadores compreendam todos os aspectos dos testes realizados, maximizando, assim, a utilização da bancada e garantindo a segurança e eficiência nas operações.

Palavras-chaves: bancada de testes, compressor exaustor, Dimensionamento, desempenho

ABSTRACT

This monograph addresses the design of a test bench for locomotive exhaust compressors, an essential instrument for the safe and efficient operation of the railway system. The study seeks to meet the growing need for maintenance and testing of equipment used in railway transport. Exhaust compressors play a fundamental role in locomotive braking systems, directly influencing their responsiveness and safety during operation. Therefore, performing rigorous tests is essential to ensure that this equipment operates effectively and within the standards required by the railway industry. This study was motivated by the lack of a suitable bench for performing these tests. The work begins with a review of the literature on exhaust compressors, addressing their operating principle, types and applications in locomotives. Several models available on the market were analyzed. Based on this analysis, a set of requirements that the test bench must meet to enable accurate and reliable evaluations of the compressors was defined. The methodology adopted involved collecting data on the operating conditions of the exhaust compressors, including pressures, flow rates and temperatures. Based on these data, AUTOCAD (Computer Aided Design) software was used to model the bench. The sizing criteria involved structural and functional aspects, focusing on operator safety and test effectiveness. In addition to the technical aspect, the work also discusses the economic viability of having an appropriate test bench. Implementing an appropriate structure can significantly reduce maintenance costs and increase the operational efficiency of locomotives, resulting in direct benefits for the company. The results obtained show that the bench developed meets the necessary specifications and is capable of performing tests accurately, allowing faults to be identified and maintenance to be predicted before potential problems become critical. This not only increases the safety of railway operations, but also contributes to reducing unexpected shutdowns and excessive expenditure on corrective maintenance. Finally, the project also proposes recommendations for training professionals who will operate the test bench. A specific training program is essential to ensure that operators understand all aspects of the tests performed, thus maximizing the use of the bench and ensuring safety and efficiency in operations.

Keywords: test bench, exhaust compressor, Sizing, performance

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos	1
1.2.1. Objectivo Geral.....	1
1.2.2. Objectivos Específicos	1
1.3. Metodologia	1
CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1. Compressor	2
2.1.1. Breve Historial	2
2.1.2. Tipo de compressores.....	3
2.1.3. Gás e vapor.....	8
2.1.4. Equação dos gases perfeitos	9
2.2. Compressores exaustores	12
2.2.1. Características técnicas do compressor exaustor	13
2.2.2. Componentes principais do compressor exaustor	13
2.2.3. Realização de Testes de compressor exaustor na CFM	22
CAPÍTULO III: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	26
3.1. Apresentação da Empresa	26
3.1.1. Breve Historial.....	27
3.1.2. Estrutura Orgânica.....	27
3.1.3. Sistema Portuário.....	28
3.1.4. Ambiente e Segurança no Trabalho.....	29
3.2. Locomotiva U20C.....	29
3.2.1. Informações Técnicas	30
3.2.2. Características da locomotiva	32
CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	33
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	35
5.1. Componentes necessários para a concepção da bancada	35
5.1.1. Motor eléctrico	35
5.1.2. Painel de comando para accionamento do sistema	36
5.1.3. Polias e Correias.....	37
5.3. Análise da viabilidade da concepção da bancada	44
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
6.1. Conclusões	47

6.2. Recomendações.....	48
CAPÍTULO VII REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	49
7.1. Referência bibliográfica.....	49
7.2. Outras referências consultadas.....	49
Anexos	50

Lista de Figuras

Figura 1 Tipos de Compressores	4
Figura 2 Esquema de um compressor alternativo.....	4
Figura 3 compressor de dois estágios	5
Figura 4 Diagrama de etapas do ciclo de compressão.....	6
Figura 5 Início do processo de compressão.....	7
Figura 6 Primeiro estágio do ciclo de compressão	7
Figura 7 Segundo estágio do ciclo de compressão	7
Figura 8 Terceiro estágio do ciclo de compressão	8
Figura 9 Quarto estágio do ciclo de compressão.....	8
Figura 10 Compressor exaustor.....	13
Figura 11 válvula de segurança E1	14
Figura 12 Acoplamento Rígido	15
Figura 13 Base e esquema da Bancada.....	16
Figura 14 Válvula de Segurança E7C.....	19
Figura 15 Válvula de Retenção	19
Figura 16 Arrefecedor	20
Figura 17 Manómetro	21
Figura 18 Reservatório de Ar	22
Figura 19 Máquina de produzir vácuo.....	23
Figura 20 Edifício principal dos CFM-Sul na baixa da Cidade de Maputo	26
Figura 21: Estrutura orgânica dos CFM	27
Figura 22 Locomotiva diesel-eléctrica Modelo U20C	29
Figura 23 locomotiva diesel-eléctrica.....	30
Figura 24 Motor Eléctrico	36
Figura 25 Painel de Comando	37
Figura 26 Representação esquemática da transmissão por correia trapezoidal.....	37
Figura 27 Secção transversal da correia trapezoidal e seus parâmetros	38
Figura 28 Parâmetros geométricos das polias	43

Lista de Tabelas

Tabela 1 Características Técnicas do compressor Exaustor	13
Tabela 2 Problemas e formas de resolver	23
Tabela 3 características da locomotiva U20C	32
Tabela 4 componentes da bancada de testes.....	35
Tabela 5 Especificações Técnicas do Motor Eléctrico	36
Tabela 6 Parâmetros da correia trapezoidal de secção B.....	38
Tabela 7 Parâmetros geométricos das polias	42
Tabela 8 Instrumentação.....	45
Tabela 9 Analise de Custos	45

Listas de Acrónimos

CFM - Caminhos-De-Ferro de Moçambique

MD - Motor Diesel

GE - General Eléctrica (Referente a fabricante de locomotivas)

Lista de símbolos

\dot{m} e a vazão mássica (

ρ e a densidade do ar

ΔV - Volume deslocado dentro do cilindro

f - Rotação nominal do motor

a_w [mm] – Distância interaxial;

l_c [mm] – Comprimento da correia

α [°] – Ângulo de abraçamento da polia menor pela correia;

U [s^{-1}] – Frequência de passagens;

P_c [kW] – Potência transmissível por cada correia;

C_α – É o coeficiente do ângulo de abraçamento

C_l – É o coeficiente do comprimento da correia;

C_i – É o coeficiente da relação de transmissão;

C_r – É o coeficiente do regime de carregamento,

z – Número de correias para transmitir a potência total;

C_z – É o coeficiente de número de correias;

F_0 [N] – Força de tensão inicial;

F_v [N] – Força centrífuga;

F_r [N] – Força sobre os veios;

K_1 – Coeficiente que considera o regime de carregamento

K_2 – Coeficiente que considera as condições climáticas;

T_{med} [horas] – Tempo médio de funcionamento da correia;

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

O desenvolvimento e a manutenção de locomotivas são actividades cruciais para garantir a operacionalidade e a eficiência dos sistemas ferroviários. Um dos componentes essenciais das locomotivas diesel-eléctricas é o compressor exaustor, responsável pelo fornecimento de ar comprimido para diversos sistemas incluído freios e controles. Para garantir o bom funcionamento e o desempenho adequado deste componente, é fundamental realizar testes rigorosos durante o desenvolvimento e a manutenção do mesmo.

A General Eléctrica (GE) é uma das principais fabricantes de locomotivas e seus componentes, incluídos os compressores exaustores. Estes são projectados para operar em condições rigorosas de carga e ambientais. A necessidade de assegurar o desempenho contínuo e confiável desses compressores exaustores durante sua vida útil motivou o desenvolvimento deste trabalho de dimensionamento de uma bancada de testes específica para esses equipamentos, explorando os requisitos técnicos, as considerações de projecto e os parâmetros operacionais necessários para garantir resultados precisos e consistentes.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo Geral

- Dimensionar uma bancada de testes para o compressor exaustor da locomotiva U20-C da GE.

1.2.2. Objectivos Específicos

- Identificar as falhas mais frequentes bem como a forma de solucionar;
- Apresentar os componentes necessários para a bancada de testes;
- Estudo da viabilidade da concepção da bancada de testes.

1.3. Metodologia

- Consulta verbal a técnicos no local onde se pretende realizar o estudo;
- Pesquisa bibliográfica (estudo de trabalhos literários da pesquisa em estudo);
- Consulta do tutor experiente de grau superior para a correcção e supervisão de possíveis erros.

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Compressor

2.1.1. Breve Historial

Datando da origem da humanidade está o primeiro compressor de ar: o pulmão humano. Uma vez que o corpo humano pode exalar ar, os povos primitivos usavam sua própria respiração para soprar sobre as cinzas e criar fogo. Mas pulmões saudáveis só podem produzir 0.2 a 0.8 bar de pressão de ar. À medida que as pessoas começaram a derreter metais como ouro, cobre e estanho, temperaturas mais altas e uma fonte de ar mais poderosa foram necessárias. A compressão de ar começou com ferramentas manuais, como foles de couro, usados desde cerca de 3000 a.C. por civilizações como os egípcios e os mesopotâmicos. Esses dispositivos eram utilizados principalmente para aumentar a intensidade das chamas nas forjas e facilitar o trabalho de fundição de metais. (Smith, 1998).

Na obra "*Air Compressors and Air Systems*" de **George S. McGraw (1967)**, a história dos compressores de ar é abordada com um marco no desenvolvimento tecnológico e na evolução dos sistemas de compressão ao longo dos anos. McGraw descreve a origem e o aperfeiçoamento desses equipamentos como parte da revolução industrial e do progresso das tecnologias de engenharia, pode ser resumida nos seguintes marcos principais:

Início do Uso de Ar Comprimido (Século XIX)

Os primeiros passos no uso de ar comprimido para fins industriais remontam ao século XIX, quando os engenheiros começaram a explorar a compressão do ar como uma forma de energia. A invenção do compressor de ar foi uma consequência direta da Revolução Industrial, que trouxe uma demanda crescente por fontes de energia alternativas e mais eficientes para operar máquinas e ferramentas. O compressor mecânico representou uma mudança radical, permitindo o uso do ar comprimido como fonte de energia e ferramenta industrial. (Johnson & White, 1975)

A utilização de ar comprimido em minas para operar equipamentos, como os martelos e bombas, foi uma das primeiras aplicações industriais. No entanto, a tecnologia de compressores ainda estava em estágios iniciais de desenvolvimento.

Desenvolvimento e Patentes (Meados do Século XIX)

Em meados do século XIX, engenheiros como **George Brayton** e **Charles P. Brush** contribuíram para os primeiros designs de compressores de ar e sistemas de ar comprimido. Durante esse período, patentes começaram a ser registradas, e os compressores começaram a ser desenvolvidos para aplicações mais específicas, como a construção de ferrovias, escavação de túneis e construção de grandes projetos de infraestrutura.

Além disso, o uso de compressores de ar na construção de grandes obras, como os túneis ferroviários, foi uma importante aplicação da tecnologia na época.

A Era dos Compressores Piston (Final do Século XIX e Início do Século XX)

A Revolução Industrial marcou o início do uso industrial dos compressores de ar. Em 1829, William Mann desenvolveu um compressor mecânico para ventilação em minas, considerado um dos primeiros exemplos práticos do uso dessa tecnologia. Durante o século XIX, os compressores de pistão tornaram-se predominantes. Funcionando de maneira semelhante ao motor de combustão interna, esses dispositivos utilizavam um pistão que se movia dentro de um cilindro para comprimir o ar. A introdução do compressor de pistão no final do século XIX foi um marco que transformou a compressão de ar em uma ferramenta indispensável para a indústria. (Johnson & White, 1975).

As inovações tecnológicas da época, como o aprimoramento de vedações, válvulas e sistemas de lubrificação, tornaram os compressores mais eficientes e confiáveis, permitindo seu uso em áreas como mineração, construção civil e manufatura. As melhorias contínuas nos componentes dos compressores aumentaram sua eficiência, tornando-os viáveis para aplicações industriais mais amplas. (Clark, 1999).

Compressores de Parafuso e Compressores Centrífugos (Século XX)

No século XX, a eletrificação impulsionou o desenvolvimento de novos tipos de compressores, como os de parafuso e os centrífugos. Esses modelos ofereciam maior eficiência, operação contínua e menos manutenção em comparação com os compressores alternativos. Durante as guerras mundiais, os compressores desempenharam um papel estratégico em operações militares e na produção de equipamentos. Com o advento dos compressores rotativos, a compressão de ar alcançou uma nova era de eficiência e acessibilidade. (GreenTech Reports, 2021).

Compressores na Indústria Moderna

Hoje, os compressores de ar são altamente automatizados, com integração de sensores e inteligência artificial para otimizar o consumo de energia e reduzir emissões. Além disso, materiais mais leves e eficientes têm permitido que os compressores sejam usados em uma variedade de aplicações, desde equipamentos médicos até grandes sistemas industriais. A compressão de ar moderna está profundamente alinhada às metas de sustentabilidade, focando na eficiência energética e na redução do impacto ambiental. (Energy Today, 2020).

2.1.2. Tipo de compressores

Conforme as necessidades fabris em relação à pressão de trabalho e ao volume, serão empregados compressores de diversos tipos de construção.

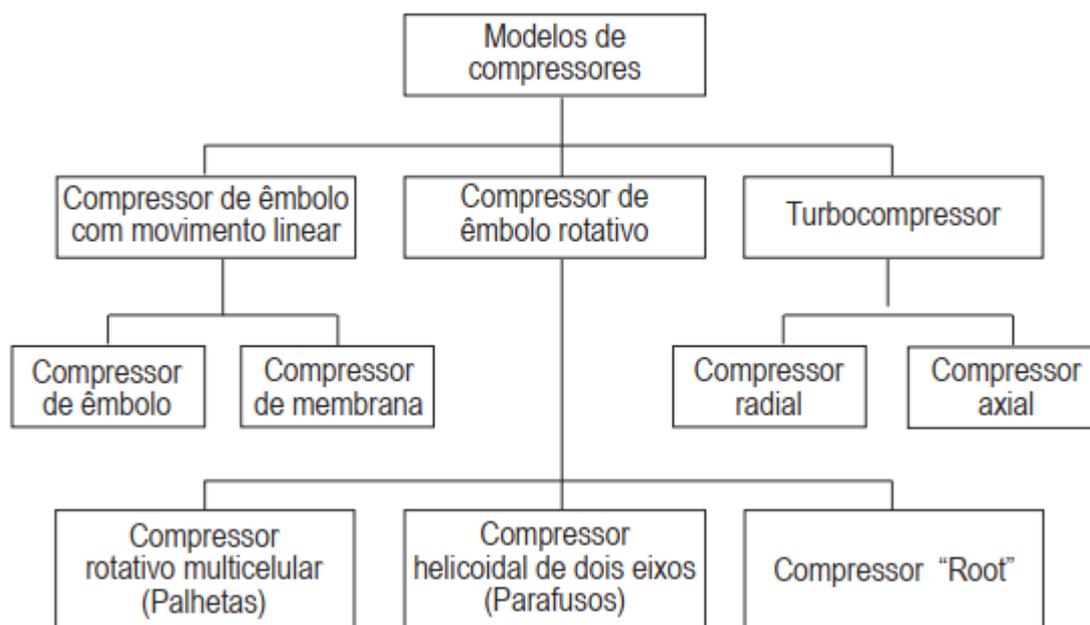


Figura 1 Tipos de Compressores

Fonte (Internet)

2.1.2.1. Compressor de êmbolo ou pistão

Actualmente, o compressor de êmbolo com movimento linear é o mais usado. Ele é apropriado não só para compressão a pressões baixas e médias, mas também para altas pressões. O campo de pressão varia de um bar até milhares de bar.

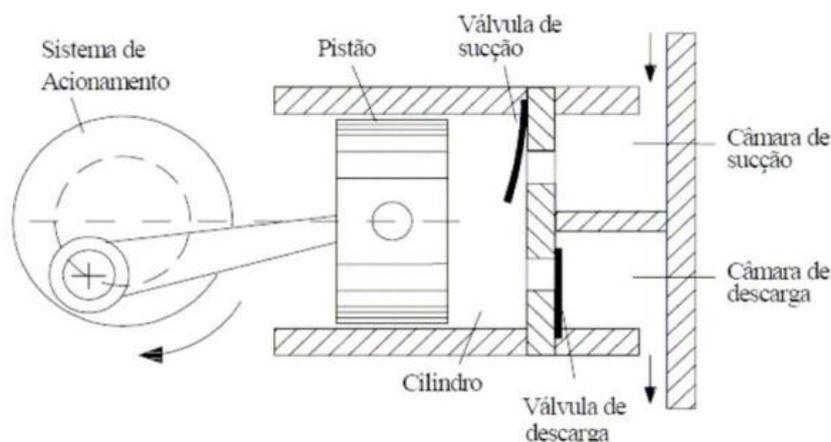


Figura 2 Esquema de um compressor alternativo

Fonte: (HAHN, 2004)

Para a compressão a pressões mais elevadas são necessários compressores de vários estágios. O ar aspirado será comprimido pelo primeiro êmbolo (pistão), refrigerado intermediariamente e novamente comprimido pelo próximo êmbolo. Na compressão a

altas pressões faz-se necessária uma refrigeração intermediária, pois essa operação gera alto aquecimento. Os compressores de êmbolo e outros são fabricados em execuções a água ou a ar.

Os compressores de êmbolo com movimento linear apresentam grandes vantagens sobre as demais:

- Até 4 bar: um estágio
- Até 15 bar: dois estágios
- Acima de 15 bar: três ou mais estágios

Também é possível operá-lo de outra maneira, mas nem sempre é a mais econômica:

- Até 12 bar: um estágio
- Até 30 bar: dois estágios
- Até 220 bar: três estágios

Compressor de dois estágios

Um compressor de dois estágios é um tipo de compressor utilizado para comprimir o ar ou outro gás em duas fases ou estágios, permitindo uma compressão mais eficiente e controlada, especialmente quando é necessário atingir altas pressões. O princípio de funcionamento de um compressor de dois estágios envolve a compressão do ar em duas etapas distintas, com o intercooler (ou resfriador) para reduzir o calor gerado durante a compressão.

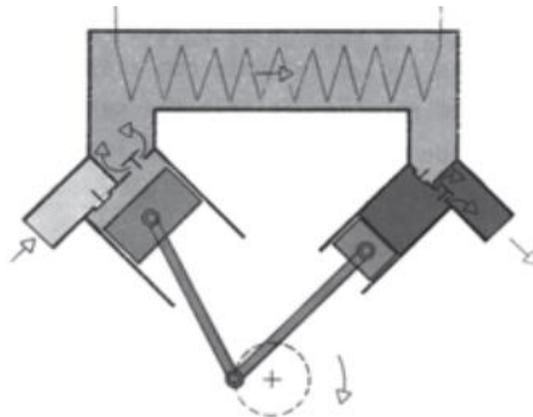


Figura 3 compressor de dois estágios
Fonte (Internet)

2.1.2.2. Princípio de funcionamento

Segundo George S. McGraw (1967) o compressor de dois estágios funciona da seguinte maneira:

Primeiro Estágio (Compressão Inicial)

- O ar ou gás entra no compressor, onde é comprimido por um pistão ou rotor.

- Nesse estágio, o ar é comprimido a uma pressão intermediária, geralmente mais baixa do que a pressão final desejada.
- Durante esse processo, o ar é aquecido devido à compressão, o que aumenta a temperatura do gás.
- Para evitar danos e garantir eficiência, o ar comprimido é direcionado para um intercooler, onde o calor é dissipado, reduzindo a temperatura do ar.

Intercooler (Resfriador Entre os Estágios)

- O ar comprimido do primeiro estágio passa por um intercooler, um dispositivo de resfriamento, que remove parte do calor gerado no primeiro estágio.
- Ao reduzir a temperatura do ar, o intercooler também ajuda a aumentar a densidade do ar, facilitando a compressão subsequente no segundo estágio e melhorando a eficiência energética do sistema.
- O resfriamento do ar reduz o risco de superaquecimento do compressor e melhora a performance no estágio seguinte.

Segundo Estágio (Compressão Final)

- O ar resfriado pelo intercooler entra no segundo estágio do compressor, onde é comprimido ainda mais para alcançar a pressão final desejada.
- Esse estágio geralmente realiza uma compressão mais intensa, atingindo pressões muito altas, dependendo da aplicação do compressor.
- Ao ser comprimido ainda mais, o ar volta a se aquecer, mas o resfriamento entre os estágios minimiza esse aumento de temperatura.

2.1.2.3. Etapas de ciclo de um compressor alternativo

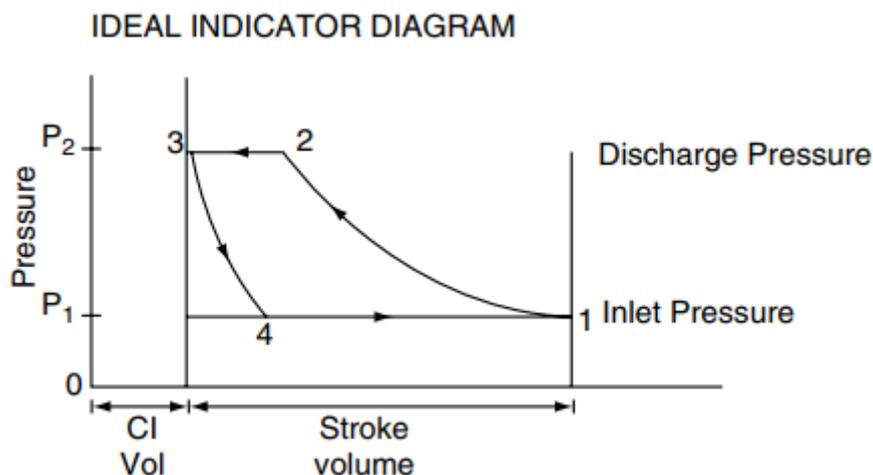


Figura 4 Diagrama de etapas do ciclo de compressão
 Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

O que acontece nos pontos

Inicialmente o pistão encontra-se no ponto morto inferior, com as válvulas de admissão e escape fechadas

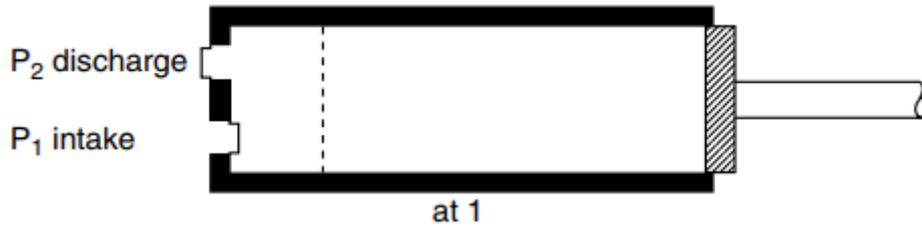


Figura 5 Início do processo de compressão

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

- 1) Fechamento da válvula de admissão, final de admissão, início de compressão.

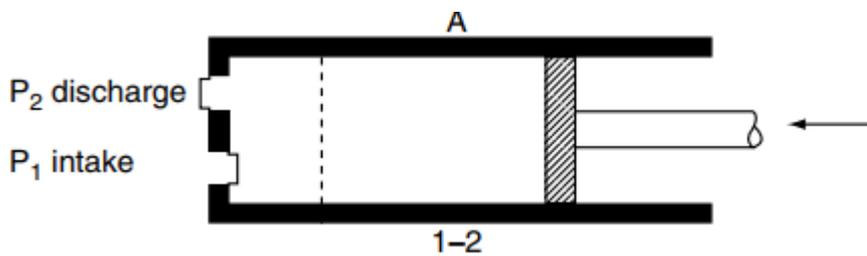


Figura 6 Primeiro estágio do ciclo de compressão

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

- 2) Abertura da válvula de descarga, final de compressão, início de descarga

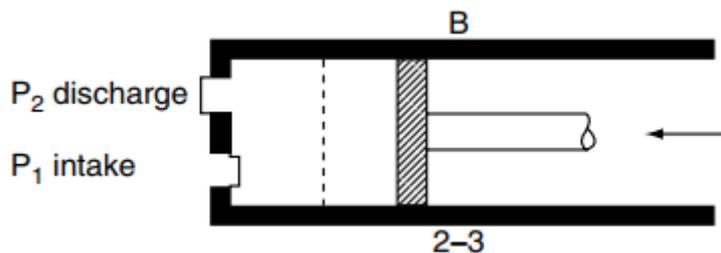


Figura 7 Segundo estágio do ciclo de compressão

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

- 3) Fechamento de válvula de descarga, final de descarga, início da expansão do gás retido no volume morto, o pistão atinge o ponto morto superior

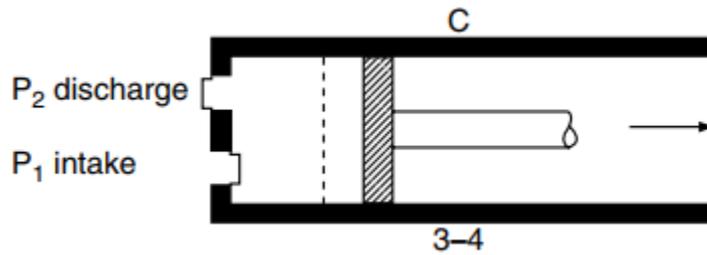


Figura 8 Terceiro estágio do ciclo de compressão

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

4) Abertura da válvula de admissão final da expansão, início da admissão

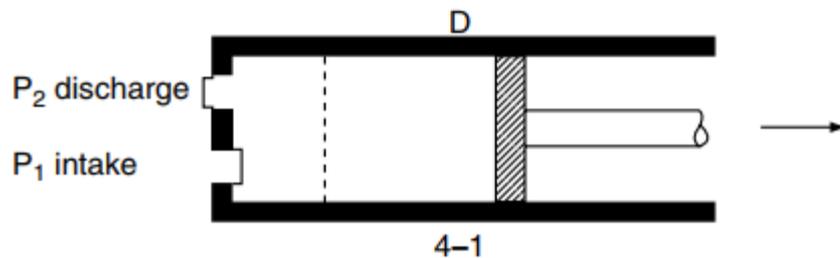


Figura 9 Quarto estágio do ciclo de compressão

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

Processo que ocorre entre os pontos

- 1 → 2 Compressão isentrópica
- 2 → 3 Descarga isobárica
- 3 → 4 Expansão isentrópica
- 4 → 1 Admissão isobárica

2.1.3. Gás e vapor

Um gás é definido como o estado da matéria distinto do sólido e estados líquidos por densidade e viscosidade muito baixas, expansão relativamente grande e contracção com mudanças de pressão e temperatura, e a capacidade difundir (distribuindo-se prontamente e uniformemente em qualquer recipiente).

Um vapor é definido como uma substância que existe abaixo da sua temperatura crítica e que pode ser liquefeita pela aplicação de pressão suficiente. Pode ser definido de forma

mais ampla como o estado gasoso de qualquer substância que é líquido ou sólido em condições normais. Muitos dos “gases” comuns usados em compressores para plantas de processo serviço são na verdade vapores. Em muitos casos, o material pode mudar estados durante uma parte do ciclo de compressão. A água é um bem por exemplo, uma vez que uma diminuição na temperatura a alta pressão causará uma parte da água se condense. Esta é uma ocorrência comum no primeiro intercooler de um compressor de ar de planta. Por outro lado, diminuindo a pressão em um reservatório de refrigerante líquido a uma temperatura fixa fazer com que a quantidade de vapor aumente.

2.1.4. Equação dos gases perfeitos

Jacques A. C. Charles e Joseph Gay-Lussac, trabalhando de forma independente, descobriram que a pressão do gás variava com a temperatura absoluta. Se o volume fosse mantido constante, a pressão variaria proporcionalmente à temperatura absoluta. Usando uma constante de proporcionalidade R , as relações podem ser combinadas para formar a equação de estado para um gás perfeito, também conhecido como Lei do Gás Perfeito

$$PV = nRT$$

Onde

P- pressão [Pa]

V- volume [m^3]

R- constante universal dos gases [$8,31/mol * K$]

T- temperatura [K]

n- numero de mols [mol]

A Primeira lei da termodinâmica e uma expressão do princípio da conservação da energia, citando energia como propriedade termodinâmica, tal expressão pode ser descrita como:

$$Q - W = \Delta U$$

A partir da análise da equação da primeira lei da termodinâmica pode se relacionar então trabalho W e calor Q como relações da energia ΔU do sistema, mensurando assim um valor para a mesma.

Quando o valor W e maior do que zero, tem se o sistema transforma calor em trabalho (Realiza Trabalho). Casos com valores de W negativos são processos em que o trabalho e convertido em calor. Quando os valores de Q e W são zero o sistema não realiza trabalho e não sofre nem ganho de calor, fenómeno que ocorre em expansões livres.

Vazão Mássica

A vazão mássica e calculada por:

$$\dot{m} = \rho * \Delta V * f$$

Onde:

\dot{m} e a vazão mássica (kg/s)

ρ e a densidade do ar (kg/m^3)

ΔV o volume deslocado dentro do cilindro (m^3)

f a rotação nominal do motor (rps)

A equação acima também pode ser reescrita utilizando a velocidade do ar v , a relação de área da secção transversal com base no diâmetro da tubulação \emptyset e da densidade ρ .

$$\dot{m} = \rho * v * \left(\frac{\pi \emptyset^2}{4}\right)$$

Trabalho de compressão

Segundo (MORAN, SHAPIRO, 2009) um volume de controle contempla um compressor pode ter seu balanço de massa e energia, desprezando-se os efeitos da gravidade, definido por:

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{comp} + \dot{m}[(h_{suc} - h_{des}) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2}]$$

No caso do compressor novo, geralmente o efeito das transferências de calor para a vizinha e um efeito secundário, assim o mesmo pode ser desprezado para fins de cálculo, juntamente com as por energia cinética, simplificando assim o equacionamento. Isolando tem se para o modelo de fábrica:

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_{suc} - h_{des})$$

No caso de análise com equipamento funcional real, deve se levar em conta que durante o ciclo de compressão, há uma troca de calor relevante entre o gás e cilindro e este processo não pode ser considerado adiabático devendo assim ser determinado segundo (CAVALLINI et. al., 1996) pela equação:

Relação de calor específico

$$K = \frac{C_p}{C_v}$$

Onde:

C_p – Calor específico a pressão constante

C_v – Calor específico a volume constante

Segunda lei da termodinâmica

$$h_2 - h_1 = Q - W$$

Se o processo for considerado adiabático (sem transferência de calor), então temos

$$Q = 0$$

$$h_2 - h_1 = -W$$

Para um processo isentrópico e adiabático,

$$h_2 - h_1 = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{(K - 1)/K}$$

$$h_2 - h_1 = C_p(T_2 - T_1)$$

O calor específico C_p Pode ser calculado usando a constante específica do gás R e Razão de calor específico k .

$$C_p = \frac{RK}{K - 1}$$

Substituída a equação

$$h_2 - h_1 = \frac{R(T_2 - T_1)}{(K - 1)/K}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{RT_1}{K - 1} \left[\frac{T_2}{T_1} - 1 \right] = -W$$

$$H_a = h_2 - h_1$$

$$r_p = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = r_p^{\frac{K-1}{K}}$$

$$H_a = RT_1 \frac{K}{K-1} (r_p^{\frac{K-1}{K}} - 1)$$

A temperatura de descarga pode ser determinada usando a expressão seguinte

$$T_2 = T_1 (r_p^{\frac{K-1}{K}})$$

2.2. Compressores exaustores

Os compressores exaustores desempenham um papel fundamental para o funcionamento eficiente e seguro das locomotivas. Esses dispositivos são responsáveis por fornecer o ar comprimido necessário para diversos sistemas importantes da locomotiva.

Um dos principais usos do ar comprimido gerado pelo compressor exaustor é no sistema de freios. O ar comprimido é utilizado para accionar os cilindros do freio aplicando a força necessária para frear as rodas da locomotiva de maneira controlada, essa funcionalidade é crucial para a segurança da operação ferroviária permitindo que o maquinista possa desacelerar e parar a locomotiva com precisão.

Para além do sistema de freios o ar comprimido também é empregado em outros sistemas auxiliares da locomotiva como:

- Limpeza dos bocais dos injectores: o ar comprimido é usado para limpar e desobstruir os bocais, garantido o funcionamento adequado do sistema de injeção de combustível;
- Accionamento dos limpadores do para brisa: o ar comprimido é utilizado nos mecanismos que movimentam os limpadores, mantendo a visibilidade do maquinista durante a operação;
- Geração de energia pneumática: o ar comprimido pode ser aproveitado para accionar equipamentos que demandam energia pneumática, como ferramentas de manutenção.

2.2.1. Características técnicas do compressor exaustor

A Locomotiva U20c usa um compressor Exaustor de Modelo: 6CDX4UC (WABCO)

Tabela 1 Características Técnicas do compressor Exaustor

Características técnicas	
Rotação Nominal	250Rpm
Número de cilindros de baixa pressão	1
Número de cilindros de alta pressão	1
Número de cilindros vácuo	4
Tipo de bomba de óleo	Engrenagem
Arrefecimento	Ventilador

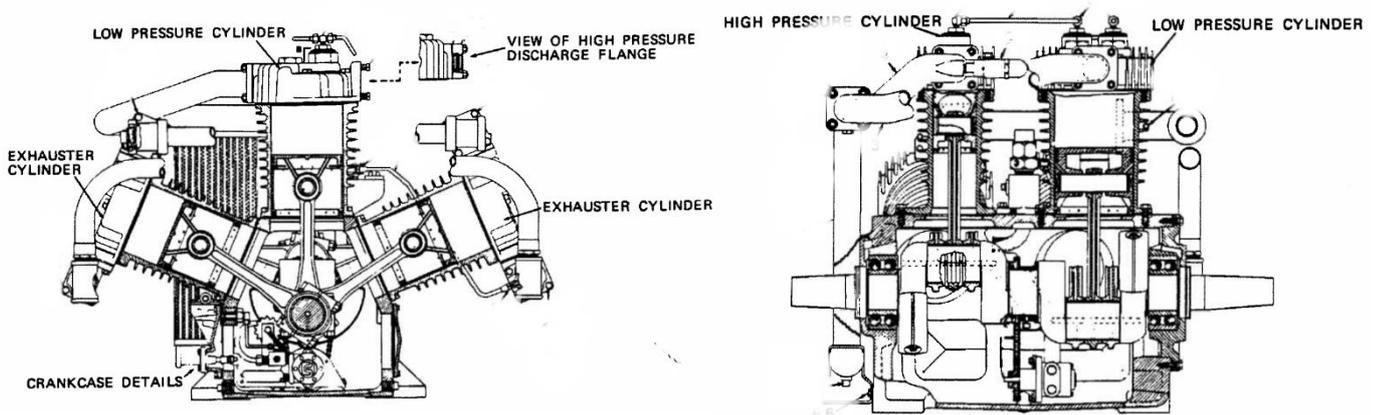


Figura 10 Compressor exaustor

Fonte (Compressors: Selection and Sizing 3rd Edition)

2.2.2. Componentes principais do compressor exaustor

Cilindros

Os cilindros são onde ocorre a compressão e exaustão do ar. O número e o tamanho dos cilindros podem variar dependendo do design, capacidade do compressor. Os cilindros possuem um design que facilita no resfriamento do mesmo.

Pistões

Os pistões se movem dentro dos cilindros, comprimindo e criando vácuo. Eles são accionados por um mecanismo de manivela ou biela.

Radiador

O resfriador tem a função de diminuir a temperatura do ar comprimido que sai do compressor a uma elevada temperatura, se não resfriado, esse ar pode causar danos nos equipamentos e levar prejuízos ao usuário,

A primeira e importante etapa de um sistema que faz o tratamento do ar comprimido, e a redução da temperatura do ar até níveis bem próximos aos do meio ambiente. Isso porque as temperaturas podem chegar a 120°C após a compressão. Os resfriadores posteriores de ar são ideias para essa tarefa desempenhando papel importante também na remoção dos condensados formados nessa etapa.

Válvula de segurança E1

A válvula de segurança E1 tem por função, logo que a pressão do ar enviado pelo compressor ultrapassa um valor predeterminado, deixa escapar o ar em excesso,

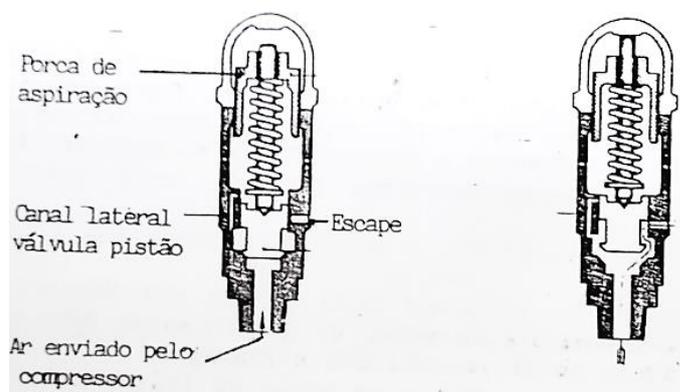


Figura 11 válvula de segurança E1

Fonte (CFM)

A válvula de segurança E1 é montada entre os cilindros de alta e baixa pressão, a válvula é montada entre os cilindros para no caso do cilindro de alta pressão ter algum problema na admissão do ar não ultrapassar-se os valores de pressão pois o cilindro de baixa pressão vai continuar mandando o ar comprimido para o cilindro de alta pressão, Nessas condições a válvula é accionada.

Acoplamento

O acoplamento no compressor exaustor descreve o mecanismo essencial que conecta o motor ou o accionamento primário ao próprio compressor. Este componente é crucial para o funcionamento eficiente e confiável do equipamento, assegurando que a energia do motor seja transmitida de maneira adequada para impulsionar o compressor.

Os acoplamentos são projectados para resistir às cargas mecânicas e térmicas geradas durante o funcionamento do compressor. Eles devem ser capazes de absorver choques e vibrações, além de compensar desalinhamentos entre o motor e o compressor para evitar desgastes prematuros e danos aos componentes.

O acoplamento a ser usado no compressor e do tipo acoplamento rígido, foi escolhido esse tipo de acoplamento por causa das suas vantagens:

- Facilidade de Manutenção;
- Reduzir vibrações;
- Compensar desalinhamentos;
- Absorver choques.

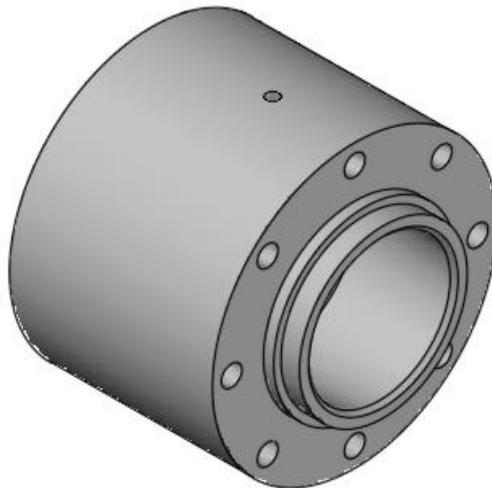


Figura 12 Acoplamento Rígido

Ventilador

O ventilador no compressor exaustor desempenha um papel crucial no processo de exaustão, garantindo o fluxo adequado de ar dentro do sistema. Este componente é projetado para melhorar o desempenho operacional do compressor exaustor, assegurando que o ar seja movido de maneira eficiente e eficaz.

O ventilador geralmente é instalado estrategicamente no sistema de exaustão do compressor, próximo à saída de ar ou diretamente acoplado à unidade de compressão. Sua localização otimiza o fluxo de ar dentro do equipamento, garantindo que o ar seja movido de forma eficiente e que os gases exauridos sejam expelidos adequadamente.

Ventiladores podem ser equipados com controles automáticos para ajustar a velocidade e a direção do fluxo de ar conforme necessário. Isso pode incluir sensores de temperatura e pressão que ajudam a otimizar o desempenho do ventilador e garantir que o sistema opere dentro dos parâmetros ideais de temperatura e pressão.

Base/suporte

A base ou suporte de um compressor exaustor é uma parte fundamental da estrutura do equipamento, proporcionando suporte físico e estabilidade para todas as suas componentes. Este componente desempenha várias funções importantes para garantir o funcionamento seguro e eficiente do compressor exaustor:

A base ou suporte serve como a fundação sobre a qual o compressor exaustor é montado. Ele é projetado para suportar o peso do equipamento, bem como quaisquer cargas adicionais que possam surgir durante a operação, como vibrações e movimentos do compressor.

Além de fornecer suporte estrutural, a base ou suporte é projetado para absorver vibrações e impactos gerados pelo funcionamento do compressor. Isso ajuda a minimizar a transmissão de vibrações para o ambiente ao redor, reduzindo o ruído e prolongando a vida útil do equipamento.

A base ou suporte também facilita o ajuste e o nivelamento do compressor exaustor durante a instalação e a manutenção. Isso é essencial para garantir que todas as partes móveis, como acoplamentos e componentes mecânicos, estejam alinhadas corretamente, maximizando assim a eficiência operacional do compressor.

Além de suportar o compressor em si, a base ou suporte pode integrar outros componentes essenciais do sistema, como reservatórios de ar, sistemas de filtragem de ar e dispositivos de controle. Isso simplifica a montagem e a manutenção do sistema, garantindo uma operação integrada e eficiente.

Por fim, a base ou suporte pode incluir recursos projectados para proteger o compressor exaustor contra condições ambientais adversas, como umidade, poeira e corrosão. Isso ajuda a prolongar a vida útil do equipamento e a garantir sua operação confiável em diversos ambientes industriais.

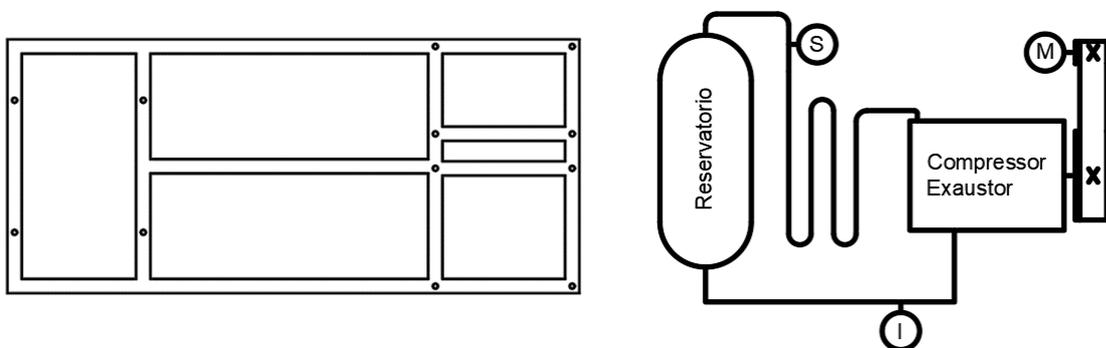


Figura 13 Base e esquema da Bancada

Filtro de ar

Filtros são sistemas utilizados na filtragem do ar, mantendo a quantidade de sujeira e materiais abrasivos dentro de limites aceitáveis para o bom funcionamento e vida útil do sistema de ar comprimido. Eles são capazes de reter umidade e partículas presentes no ar (CORADI, 2011).

O filtro de ar é aplicado em três pontos diferentes no sistema de ar comprimido. Um filtro antes, um depois do secador de ar e outro no ponto de uso (METALPLAN, 2010).

Metalplan (2010) relata que a instalação do filtro antes do secador (pré-filtro) tem como função separar o restante do condensado e impurezas que não foram totalmente eliminadas no processo de resfriamento, aumentando assim a eficiência do secador de resfriar o ar comprimido. Já a instalação do filtro após o secador de ar (pós-filtro) exerce a função de eliminar a umidade residual e as partículas sólidas.

De acordo com Coradi (2011) o ar que circula na rede de distribuição pode conter umidade, impureza e contaminantes. A maior parte dessas impurezas é eliminada no processo de tratamento do ar, mas as partículas menores que não foram retidas nesse processo ficam no interior da canalização e são deslocadas pelo fluxo do ar comprimido, chegando até a alimentação das máquinas pneumáticas, agindo como abrasivos, prejudicando seu funcionamento. O filtro instalado no ponto de uso é empregado para minimizar esse problema, proporcionando uma melhor qualidade do ar.

É importante destacar o filtro de ar de admissão posicionado juntamente ao compressor, pois, durante o funcionamento, os compressores realizam a movimentação de volumes significativos de ar e, embora não seja perceptível, o ar apresenta impurezas que podem acumular em quantidades consideráveis se o ponto de entrada de ar não estiver em um local adequado (BUCK, 2004)

Tubulação

A tubulação desempenha um papel crucial no funcionamento eficiente e confiável de um compressor exaustor, formando o sistema de condução que transporta o ar comprimido e os gases exauridos para dentro e fora do equipamento.

A tubulação no compressor exaustor é projectada para conduzir o ar comprimido e os gases exauridos de forma segura e eficiente. Ela pode incluir tubos, mangueiras, conexões e válvulas que formam um sistema integrado para direccionar os fluxos de ar conforme necessário. A configuração pode variar dependendo do tipo de compressor e das especificações do sistema.

Termómetro

O termómetro desempenha um papel crucial no funcionamento adequado e eficiente do compressor exaustor. Pois este dispositivo monitorar e controlar a temperatura do compressor durante sua operação.

O termómetro permite aos operadores monitorar continuamente a temperatura do compressor exaustor. Isso é fundamental porque temperaturas excessivamente altas podem indicar problemas, como superaquecimento do motor, mau funcionamento dos componentes internos ou até mesmo riscos de danos irreversíveis ao equipamento.

Manter a temperatura dentro dos limites seguros é crucial para evitar danos graves ao compressor. Temperaturas muito altas podem levar à degradação prematura dos componentes, diminuindo a vida útil do equipamento e aumentando os custos de manutenção e reparo. Por outro lado, temperaturas muito baixas podem indicar problemas de eficiência ou até mesmo mau funcionamento do sistema.

Segurança Operacional

Manter a temperatura controlada não apenas protege o equipamento, mas também contribui para a segurança operacional. Temperaturas excessivas podem representar riscos de incêndio ou explosão, especialmente em ambientes industriais onde a operação de compressores exaustores é crítica para o funcionamento de outras máquinas e processos.

Manutenção Preventiva

O termómetro também desempenha um papel vital na programação de manutenção preventiva. Ao monitorar regularmente a temperatura, os operadores podem identificar tendências e padrões que indiquem a necessidade de ajustes, lubrificação, limpeza ou substituição de componentes antes que ocorram falhas catastróficas.

Válvulas de segurança

Uma válvula de segurança é um tipo de válvula de pressão encontrada em compressores. Esta válvula abre automaticamente quando a pressão do ar comprimido no sistema pneumático ultrapassa o nível permitido. Ele é responsável pela utilização segura do compressor e pelo seu correcto funcionamento. Também evita falhas causadas por pressão muito alta no sistema de ar comprimido. A operação da válvula de segurança não requer supervisão do operador porque funciona automaticamente. A válvula é fechada por meio de uma mola o que garante total estanqueidade quando necessário. Porém, se a pressão no sistema pneumático for muito alta a mola é comprimida pela pressão, o que por sua vez abre a válvula de segurança.

➤ Válvula de segurança E7C

A válvula de segurança E7C, instalada verticalmente no encanamento do compressor, serve para evitar pressão excessiva no sistema, caso haja alguma falha no pressostato,



Figura 14 Válvula de Segurança E7C

Válvula de retenção

A válvula de retenção tem por função impedir o regresso do ar comprimido contido dentro do reservatório.

Quando o reservatório está vazio o ar comprimido enviado pelo compressor levanta o êmbolo. Logo que a pressão seja atingida, o compressor para de fornecer ar e o ar contido no reservatório não poderá regressar até o compressor porque o êmbolo da válvula estará sobre a sua sede. O regresso do êmbolo sobre a sede será ajudado pela mola e também pela pressão do ar contido dentro do reservatório.

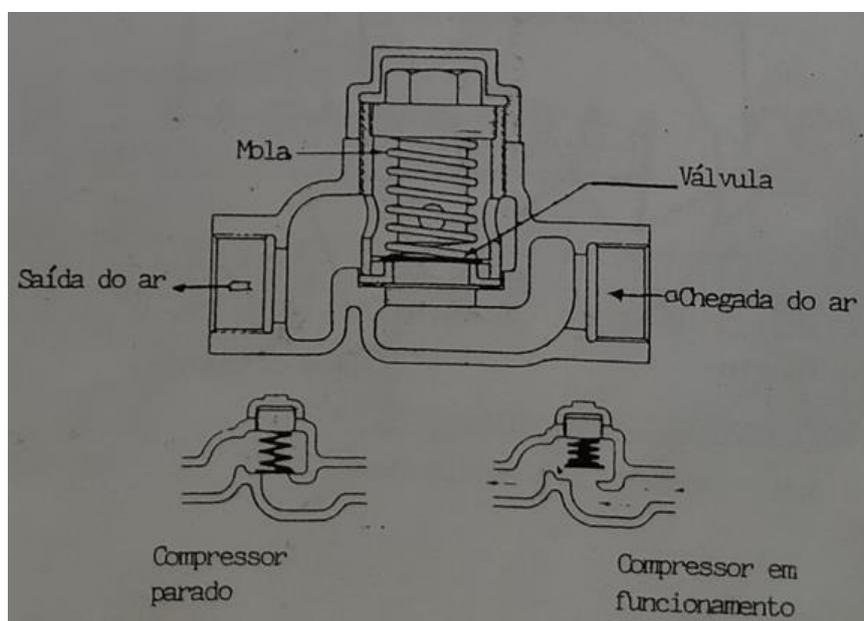


Figura 15 Válvula de Retenção

Pressostato

O pressostato é um componente projectado para fornecer protecção a equipamentos e processos industriais. Ele é essencialmente um instrumento de medição que desempenha o papel de monitorar a pressão em equipamentos, máquinas e dispositivos.

A parte compressora do compressor – exaustor, é um compressor de dois estágios o qual é ligado directamente ao motor eléctrico, tendo assim uma rotação constante, quando a pressão do ar comprimido atingir o valor máximo da faixa para a qual tiver sido regulado, este irá desenergizar uma válvula magnética, a qual por sua vez deixará fluir ar do reservatório principal para as válvulas descompressoras existentes nos cabeçotes do compressor. A válvula descompressora, sob a acção do ar comprimido, movimentar-se para baixo abrindo as válvulas de admissão do compressor e impedido que as mesmas fechem-se no ciclo normal de compressão.

O compressor para, de comprimir passando a funcionar em vazio. Quando a pressão do reservatório cair até o valor mais baixo da faixa de regulação do pressostato, este pressostato irá reenergizar a válvula CMV, a qual descarregará para a atmosfera o ar que se encontra presente nos cabeçotes do compressor, o compressor passa novamente a comprimir.

A faixa normal de regulação do pressostato é de 125 a 140psi (8,8 a 9,86 bar)

Arrefecedor

O ar possui vapor de água que pode condensar devido à variação da pressão e temperatura ao longo da rede de distribuição do ar comprimido. Drenos e filtros separadores de água têm o papel de retirar esse condensado da linha pneumática. Porém, tais componentes não são capazes de retirar vapor de água, por isso torna-se conveniente o uso de secadores de ar (SILVA, 2002)

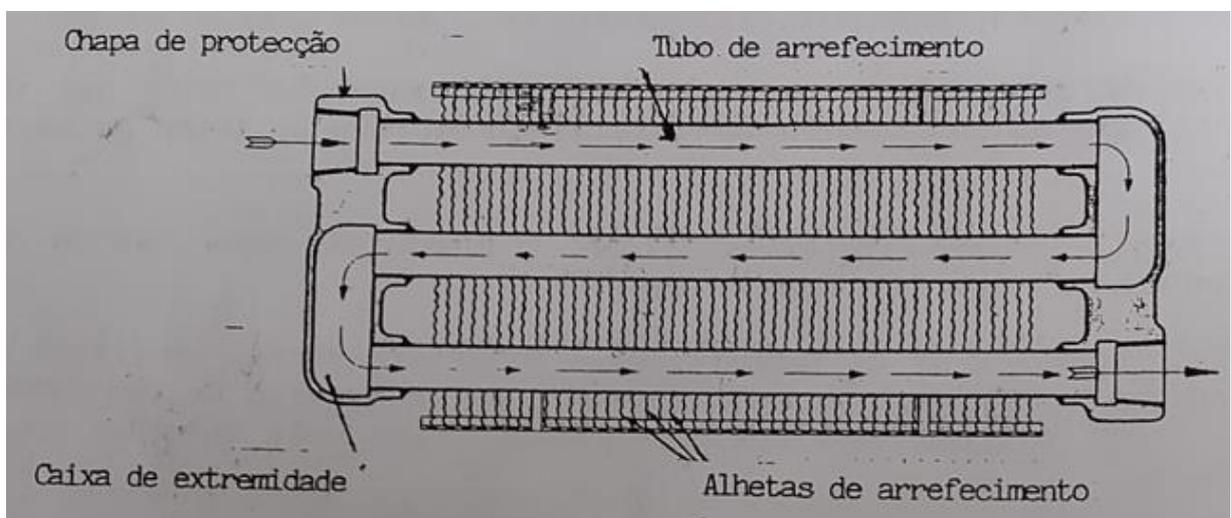


Figura 16 Arrefecedor

Manómetro

Manómetro é um instrumento de medição responsável por monitorar e exibir a pressão acumulada em determinado ambiente ou reservatório. O manómetro no compressor é utilizado para realizar a medição da pressão dentro do cilindro do compressor, normalmente é utilizada em PSI, lbf/pol² (libra-força por polegada quadrada) indicando assim quando o compressor está cheio ou vazio.



Figura 17 Manómetro

Reservatório de ar

A finalidade do reservatório principal é armazenar e resfriar o ar comprimido pelo compressor, condensando a umidade nele existente. A tubulação entre o compressor e o reservatório deve ser disposta de modo tal que haja um dreno do compressor para o reservatório.

O acúmulo de água no reservatório não só diminui a capacidade de armazenamento do ar como também é prejudicial ao sistema.



Figura 18 Reservatório de Ar

Purgador

O purgador no compressor exaustor desempenha um papel essencial no sistema de ar comprimido, sendo responsável pela remoção automática de condensados e contaminantes que se acumulam no sistema durante o processo de compressão. Este componente é crucial para manter a qualidade do ar comprimido, garantindo assim o funcionamento eficiente e prolongando a vida útil do equipamento.

Função Principal:

O purgador tem a função principal de remover condensados (água) e outros contaminantes líquidos do sistema de ar comprimido. Durante o processo de compressão, o ar contém uma quantidade significativa de umidade que se condensa à medida que o ar esfria dentro do sistema. Se não removido, esse condensado pode causar problemas como corrosão nos componentes internos do compressor, redução da eficiência operacional e danos aos equipamentos pneumáticos que utilizam o ar comprimido.

O purgador opera de forma automática, detectando a presença de condensado no sistema e abrindo-se periodicamente para expelir o líquido acumulado. Isso garante que o sistema de ar comprimido permaneça livre de água e contaminantes, mantendo assim a qualidade do ar comprimido e reduzindo os custos de manutenção associados à corrosão e danos causados pela água.

2.2.3. Realização de Testes de compressor exaustor na CFM

Para a testagem do compressor antes e após de alguma reparação usa-se o vacuómetro como ilustra a imagem a seguir. O figura ilustra o equipamento usado para a testagem de vácuo no compressor, ela é ligada ao compressor, que por sua vez succiona todo o ar

contido nos cilindros exaustores. Com o processo de sucção em execução e colocado um instrumento de medição no compressor exaustor para medir o vácuo no compressor.

Esse teste por vezes não é confiável pois não simula as condições ideais de funcionamento da locomotiva, o que prejudica na recolha de resultados.



Figura 19 Máquina de produzir vácuo

Fonte (O Autor)

Problemas mais frequentes e formas de resolver

Tabela 2 Problemas e formas de resolver

Problema	Causa	Forma de resolver
Baixa produção de vácuo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Segmentos dos pistões gastos; ➤ Tubulação defeituosa; ➤ Rachaduras na sede das válvulas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deve se verificar os cabeçotes do compressor para ver se há aparecimento de óleo nas duas bancas ou não; ➤ Se por acaso for na bancada compressora vamos proceder com a remoção dos cilindros da bancada exautora, vamos

		também substituir os vedantes laterias, depois da desmontagem dos cilindros deve se fazer a medição dos cilindros e pistões para a encontrar a folga mínima permitida, tendo se verificado que a folga mínima esta dentro dos padrões exigidos faz se a montagem de m novo jogo de segmentos
Consumo excessivo de óleo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Abertura dos anéis (de admissão e exaustão) gastos. ➤ Retentores de óleo defeituosos; ➤ Vedantes dos cilindros, e do cárter defeituosos; ➤ Vazamento da conduta entre o cárter e o colector manifold 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Actividades a realizar: temos que visitar os cabeçotes do compressor para ver se há aparecimento de óleo nas duas bancadas. O segundo passo se por acaso for na bancada compressora vamos proceder com a remoção dos cilindros e depois vamos fazer a remoção dos (segmentos) se for o caso dos cilindros ovalizados ou pistões gastos não se pode fazer substituição desses elementos cem antes fazer uma medição para verificar o estado em que se encontram se estiverem ovalizados não temos outra opção há não ser substituir.

Baixa produção de ar comprimido	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Segmentos dos pistões gastos; ➤ Tubulação defeituosa; ➤ Rachaduras na sede das válvulas 	Actividades a realizar: vamos remover as válvulas e fazer limpeza reajuste das válvulas de admissão e escape da banda compressor se não estiverem mais em condições (danificadas) vamos substituir.
gripamento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Falta de manutenção (respeitar o tempo de intervenção no compressor); ➤ Lubrificação deficiente. ➤ Filtro de óleo sujo ou danificado; ➤ Bomba de óleo defeituosa; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Manutenções preventivas e periódicas (troca de óleo quando necessário; adição de óleo quando necessário; troca de filtros apos o tempo de vida esgotado) ➤ Usar óleos adequados de acordo com as especificações do fabricante; ➤
Problema no Resfriador Intermediário	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Válvula de segurança defeituosa; ➤ Tubulação com vazamento 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Trocar de forma periódica a válvula de segurança; ➤ Inspeção periódica; ➤ Limpeza constante.

CAPÍTULO III: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1. Apresentação da Empresa



Figura 20 Edifício principal dos CFM-Sul na baixa da Cidade de Maputo

Fonte: (www.cfm.co.mz)

O Porto e caminhos-de-ferro de Moçambique (CFM) desempenham um papel fundamental no transporte e na história de Moçambique, fundados no final do séc. XIX durante a colonização portuguesa, os CFM foram inicialmente concebidos para facilitar a exploração dos recursos naturais do país, como carvão minerais, ligando as regiões produtoras no interior do litoral.

Ao longo dos anos os CFM expandiram-se de forma significativa com redes que se estendem por todo o país, conectando cidades, vilas e comunidades rurais. Os CFM não apenas desempenham um papel crucial na economia, facilitando o comércio e o transporte de passageiros, mas também na integração social e cultural, permitindo o intercâmbio de pessoas e ideias.

Após o período Colonial os CFM enfrentaram desafios significativos, incluído falta de manutenção adequada, restrições orçamentais e problemas de gestão. No entanto, esforços estão sendo feitos para modernizar e revitalizar esses sistemas, visando melhorar a eficiência e a segurança, além de promover o desenvolvimento económico regional e nacional.

Actualmente os CFM continuam a ser uma peça fundamental no Sector de transporte em Moçambique, enfrentando desafios mas também representando oportunidades de crescimento e desenvolvimento para o país e sua população

3.1.1. Breve Historial

O diploma nº 315, de 22 de Agosto de 1931, aprova a criação e a organização da Direcção dos Serviços dos Portos e Caminhos-de-Ferro de Moçambique. Nesta altura era designada como Serviços dos Portos e Caminhos-de-Ferro da Colónia de Moçambique, cujo vocação era essencialmente em transportes de bens e prestação de serviços às empresas.

Em 1930, por iniciativa dos Caminhos-de-Ferro de Moçambique, foi criado o Serviço de Camionagem Automóvel. A existência deste serviço de transporte foi determinante para o desenvolvimento agrícola e fomento do comércio, trazendo, das zonas mais recônditas à urbe e vice-versa os produtos destinados ao abastecimento dos mercados locais e a exportação por via marítima assim como via ferroviário e aéreo. Actualmente, a empresa CFM é tutelada pelo Ministério dos Transportes e Comunicações, especialmente na prestação de serviços de transporte de mercadorias, de entre as quais, temos o minério de ferro e carvão mineral. Sendo que estes, são depositados no recinto ferro-portuário.

A Direcção de Exploração dos Transportes Aéreos DETA actual LAM (Linhas Aéreas de Moçambique), criada em 1936, era também uma Divisão dos Caminhos-de-Ferro de Moçambique, tendo sido a primeira companhia aérea

3.1.2. Estrutura Orgânica



Figura 21: Estrutura orgânica dos CFM

Fonte (www.cfm.co.mz)

3.1.3. Sistema Portuário

O sistema portuário da CFM esta assentado em cinco (5) grandes portos sendo: Maputo-Matola, Beira (Sofala), Nacala (Nampula), Pemba (Cabo Delgado), Quelimane (Zambézia).

Sistema Ferroviário

O sistema ferroviário Moçambicano e subdividida administrativamente em três redes logísticas Nomeadamente:

CFM sul- Porto de Maputo

O Porto de Maputo está localizado a sudoeste de Moçambique e a sul do canal de Moçambique. Está situado na margem esquerda do rio Matola e é composto por duas importantes áreas, nomeadamente, o Porto Comercial de Maputo e o complexo industrial da Matola.

Concentra a maior parte da rede ferroviária de Moçambique, com 1073 km de ferrovias, divididas em 3 linhas e 1 ramal activos e 4 linhas não operacionais. Actualmente, o Porto de Maputo possui uma capacidade global de manuseamento de carga de aproximadamente 17.000.000 toneladas métricas por ano.

CFM Centro- Porto da Beira

O Porto da Beira está localizado na costa leste do continente africano, a 20 km do mar aberto e a esquerda do estuário do Púngue. Porto da Beira compreende 12 cais e a sua profundidade ao longo dos mesmos varia entre 8 a 10 metros. O acesso ao porto é feito através do canal de Macuti e tem uma largura mínima de 180 metros e máxima de 250 metros, um comprimento de 27 km e uma profundidade de cerca de 11 metros.

CFM Norte – Porto de Nacala

O Porto de Nacala localiza-se no extremo sul da baía de Bengo e, devido à profundidade das suas águas, apresenta condições excepcionais de navegabilidade, o que permite a entrada/saída de navios sem limitação de calado, 24 horas por dia, e não necessita de dragagem. Estas características conferem-lhe a classificação de maior porto natural de águas profundas da costa oriental de África.

A gestão dos trechos dos CFM norte esta concessionada a empresa Nacala Logistics, cujos serviços são o transporte de carvão da mina de Moatize para o porto e o transporte de carga geral de passageiros.

3.1.4. Ambiente e Segurança no Trabalho

O CFM está comprometido a trabalhar de forma a alcançar o objectivo de Zero danos às pessoas e ao meio ambiente. Na persecução deste objectivo, a empresa garante que as actividades sejam conduzidas de tal maneira que evitem ou minimizem impactos adversos à Saúde, Segurança e Meio Ambiente. É importante reter que o CFM assume uma atitude de tolerância zero perante condições e comportamentos que possam causar acidentes e danos ao ambiente de trabalho, incluindo o consumo de álcool e substâncias entorpecentes.

Na área de Segurança de circulação de Comboios, a empresa destaca o alinhamento com as administrações ferroviárias dos países vizinhos, no que diz respeito aos termos de metodologia de investigação de acidentes e sensibilização dos trabalhadores ao longo das linhas férreas, sobre a necessidade rigorosa de cumprimento do Regulamento de Circulação de Comboios, bem como a introdução do novo Sistema Computorizado de Controlo Centralizado de Segurança de comboios e actualização de Regulamento de Circulação de Comboios.

Com essas acções todas a empresa pretende que os trabalhadores estejam no nível adequado de formação em operação e gestão da segurança de circulação de comboios, e não só, como também, em todas as tarefas operacionalizadas dentro da empresa CFM

3.2.Locomotiva U20C



Figura 22 Locomotiva diesel-eléctrica Modelo U20C

Fonte: (O Autor)

A locomotiva U20c da GE e um ícone da história ferroviária Moçambicana, reconhecida por sua robustez a versatilidade introduzida no país na década de 1990 tornou-se uma presença dominante nos trilhos especialmente operadas pelas CFM.

Construída para suportar condições adversas das linhas ferroviárias Moçambicana, a U20C e uma locomotiva diesel eléctrica de grande porte capaz de transportar cargas pesadas em longas distancias, seu motor diesel de alta potência aliado ao sistema de tracção eléctrica, proporciona eficiência e desempenho mesmo em terrenos montanhosos e de difícil acesso.

Ao longo dos anos, a U20C se consolidou como uma das locomotiva mais confiáveis e duráveis em operação em Moçambique, contribuindo significativamente para o desenvolvimento económico do país ao facilitar o transporte de pessoas e bens

Alem de seu impacto económico, a U20C também tem um papel cultural importante, sendo admirada por entusiastas ferroviárias e preservada em museus e locomotivas históricas, sua silhueta robusta e característica e facilmente reconhecível, evocando uma era em que as ferrovias eram o principal meio de transporte de carga em Moçambique.

3.2.1. Informações Técnicas

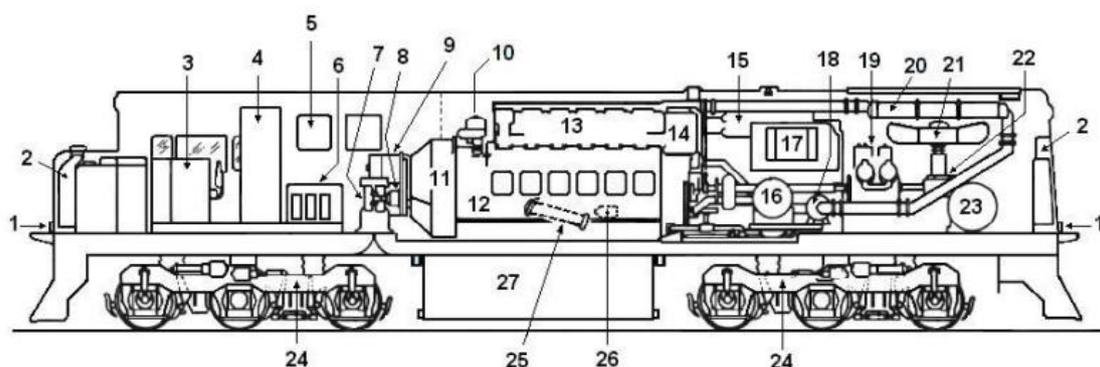


Figura 23 locomotiva diesel-eléctrica

Legenda

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1-Gancho de Engate | 7-Soprador dos motores de tracção |
| 2-Reservatório de areia | 8-Gerador auxiliar |
| 3-Cabine de comando | 9-Gerador excitatriz |
| 4-Cabine de controle | 10-Governador do motor diesel |
| 5-Resistores do freio dinâmico | 11-Gerador principal |
| 6-Baterias | 12-Motor diesel |

- 13-Conjuto de unidades de potência do motor
- 14-Reservatório de ar do motor
- 15-Tanque de água
- 16-Panel de filtros
- 17-Alojamento dos filtros de ar
- 18-Redfriador de óleo
- 19-Compressor
- 20-Radiador
- 21-Ventilador do radiador
- 22-Caixa de engrenagens do ventilador
- 23-Reservatório de ar
- 24-Bogie
- 25-Alojamento dos filtros de combustível
- 26-Bomba de transferência de combustível
- 27-Tanque de combustível

3.2.2. Características da locomotiva

Tabela 3 características da locomotiva U20C

Características da locomotiva	
Fabricante	General eléctrica
Modelo	U20c
Número de cilindros	12
Rpm em marcha lenta	450rpm
Turbo alimentação	Único
Número de tempos	4
Rotação máxima nominal	1050 Rpm
Peso seco, apenas o motor	15849 Kg
Comprimento com gerador	5436 mm
Altura com chaminé	2378 mm
Largura total	1737 mm
Potencia máxima	2150 HP
Potência disponível no gerador principal	2000 HP
Bitola	1,067 m
Velocidade máxima	103 Km/h
Diâmetro das rodas	36''
Combustível	6359 l
Óleo lubrificante	1045 l
Água de refrigeração	760 l
Peso total	108 T

CAPÍTULO IV: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Abordagem da investigação

A bancada de testes é uma ferramenta essencial para validar o desempenho de compressores exaustores utilizados em locomotivas, garantindo sua confiabilidade e eficiência.

Para elaboração do presente trabalho foi necessário fazer-se pesquisas, consultas a manuais do assunto em causa tanto como consultas a especialistas e técnicos da área.

A abordagem metodológica é dividida em etapas claras e estruturadas, conforme descrito abaixo:

Levantamento de Requisitos

Identificação das especificações técnicas,

- Pressão de trabalho;
- Potência e torque necessários para operação.
- Consulta de manuais técnicos e fabricantes.

Definição dos objetivos da bancada:

- Testar eficiência do compressor;
- Medir curvas características de pressão, fluxo e potência;
- Verificar a operação em condições adversas (simulação de falhas).

Requisitos operacionais e ambientais:

- Dimensões da bancada;
- Tipo de instrumentos de medição necessários;
- Sistemas de segurança para operadores e equipamentos.

Sistema de medição e controle:

- Sensores de pressão (manômetros digitais ou transdutores de pressão);
- Sensores de fluxo (rotâmetros ou medidores de vazão);
- Termopares para medir temperatura.

Estrutura da bancada:

- Materiais resistentes à vibração e corrosão;
- Sistema de montagem modular para facilidade de manutenção.

Sistema de acionamento:

- Motor elétrico com inversor de frequência para simular diferentes condições operacionais;
- Acoplamento mecânico adequado entre o motor e o compressor.

Projeto estrutural:

Uso de softwares de modelagem CAD para desenhar a bancada, e outros componentes caso necessários

CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Componentes necessários para a concepção da bancada

Tabela 4 componentes da bancada de testes

Componente	Função
Estrutura de Suporte	Uma base robusta que suporta todos os componentes da bancada, garantindo estabilidade durante os testes.
Motor Elétrico	Para simular as condições de funcionamento do compressor exaustor
Compressor Exaustor	O próprio compressor a ser testado, montado de forma acessível para manutenção e ajustes
Sistema de Alimentação de Ar	Um sistema que fornece ar comprimido ao compressor para simular as condições de operação. Pode incluir tanques de ar e válvulas de controle.
Manômetros	Instrumentos para medir a pressão de entrada e saída do compressor, permitindo monitorarmos o desempenho
Transdutores de Pressão	Sensor que medem a pressão em diferentes pontos, com leituras que podem ser enviadas para um sistema de monitoramento
Medidores de Fluxo	Equipamento para medir a taxa de fluxo de ar comprimido gerado pelo compressor
Sistema de Resfriamento	Um dispositivo para dissipar o calor gerado durante os testes, garantindo que o compressor não superaqueça
Sistema de Controle	Um painel de controle que permite ajustar os parâmetros de teste, como pressão e temperatura, além de monitorar as leituras em tempo real
Dados de Registro	Um sistema de aquisição de dados para registrar as medições durante os testes, possibilitando análises posteriores
Válvulas de Alívio	Para garantir a segurança, permitindo a liberação de pressão excessiva do sistema
Sistema de Lubrificação	Se aplicável, para garantir que o compressor opere de forma suave e eficiente durante os testes

5.1.1. Motor eléctrico

O motor eléctrico será escolhido com base nas especificações técnicas do compressor exaustor que são:

$$n = 1050rpm$$

$$T = 70lbs = 94,906Nm \text{ (valor medido)}$$

Com base nos dados acima poderá calcular se a potência do compressor

$$P = \frac{T * n}{9550} [KW]$$

$$P = \frac{94,906 * 1050}{9550}$$

$$P = 10,43KW$$

Escolha do Motor

O motor escolhido e da WEG-W22 IR3 Premium



Figura 24 Motor Eléctrico

Tabela 5 Especificações Técnicas do Motor Eléctrico

Potencia		RPM	Carcaça	Massa (Kg)	Momento de inercia (kgm ²)	Tensão (V)	Corrente (A)
KW	HP						
11	15	1175	160M	134	0,18433	440	19,7

5.1.2. Painel de comando para accionamento do sistema

Um painel de comando e uma caixa metálica ou quadro de metal que aloca todos os disjuntores, interruptores, temporizadores, reles e dispositivos para o controle do sistema eléctrico.



Figura 25 Painel de Comando

5.1.3. Polias e Correias

As transmissões mecânicas são mecanismos que servem para a transmissão de energia mecânica entre determinados conjuntos de máquinas. As funções das transmissões são variar a velocidade angular, regular a velocidade do órgão executivo sem variar a do motor, transformar o movimento rotativo em linear, permitir o accionamento de órgãos distantes do motor e permitir o accionamento de vários órgãos com um só motor, permitir a interrupção temporária da transmissão do movimento ao órgão executivo sem parar o motor.

Existem várias formas de secções transversais das correias que podem ser planas, trapezoidais, redondas e dentadas. No presente capítulo abordar-se-á em relação a correia trapezoidal, ela tem grande força de atrito, e conseqüentemente, a capacidade de transmitir energia, sem aumento correspondente das forças para esticar a correia.

a) Esquema:

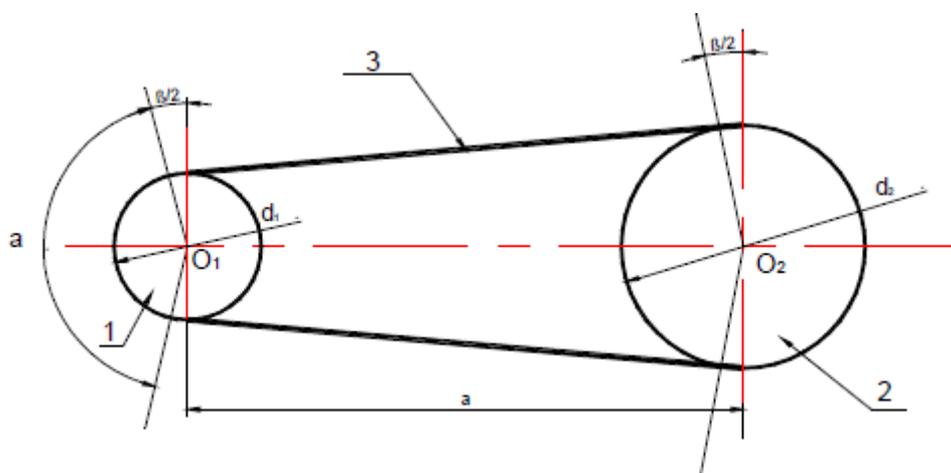


Figura 26 Representação esquemática da transmissão por correia trapezoidal

Relação de Transmissão

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i = \frac{1175}{250}$$

$$i = 4,7$$

Escolha do tipo da correia

A escolha de correias trapezoidais é feita usando tabelas ou um gráfico, onde se recomendam secções transversais em função da potência total a transmitir e a frequência de rotações. Para $P=11 \text{ kw}$ e $n=1175\text{r.p.m}$

Tabela 6 Parâmetros da correia trapezoidal de secção B

Designação da secção	b_c (mm)	b_0 (mm)	h (mm)	h_c (mm)	A (mm ²)	Comprimento limite de cálculos (mm)	Dmin (mm)	Torque transmitido (N.m)
B	14	17	11	4	138	800-6300	125	40-186

Escolha do diâmetro de cálculo da polia menor e da potência por cada correia.

A partir do gráfico e para as recomendações, escolhe-se o diâmetro $D_1 = 125\text{mm}$, Visto que se pretende uma construção de pequenas dimensões. A potência respectiva por cada correia é $P_0 = 2,4\text{KW}$.

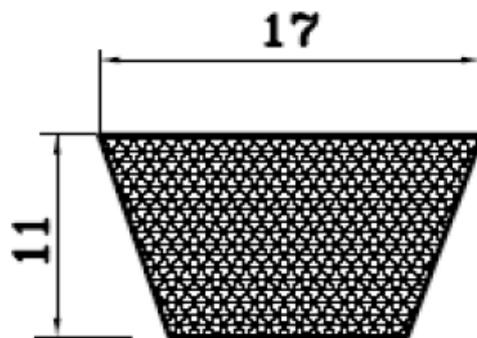


Figura 27 Secção transversal da correia trapezoidal e seus parâmetros

3-Cálculo da velocidade linear da correia:

$$v = \frac{\pi * d * n}{60000} = \frac{\pi * 125 * 1175}{60000} = 7,68 \text{ m/s}$$

4-Determinação do diâmetro da polia movida:

O diâmetro da polia maior (movida) é determinado tendo em consideração a relação de transmissão por correia. De onde se obtém:

$$i = \frac{d_2}{d_1} \rightarrow d_2 \approx d_1 * i = 125 * 4,7 = 587,5 \text{ mm}$$

Com base nas recomendações, escolhe-se o diâmetro normalizado da polia movida.

$$d_2 = 560 \text{ mm}$$

5-Correção da relação de transmissão e frequência de rotação no veio movido:

De acordo com o valor normalizado do diâmetro da polia maior, faz-se a correção da relação de transmissão e a frequência de rotação do veio movido.

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{560}{125} = 4,48$$

6-Determinação da distância interaxial:

A distância interaxial é tomada como sendo igual ao valor mínimo recomendado:

$$a = 0,95 * d_2 = 0,95 * 560 = 532 \text{ mm}$$

7-Determinação do comprimento da correia

$$l \approx 2 * a + 0,5 * \pi * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a}$$
$$2 * 532 + 0,5 * \pi * (560 + 125) + \frac{(560 - 125)^2}{4 * 532} = 2228,37 \text{ mm}$$

O valor normalizado mais próximo é $l_c = 2240 \text{ mm}$.

8-Determinação da frequência de passagens

$$U = \frac{v}{l} = \frac{7,68}{2} = 3,84 < [U] = 10 \dots 20 \text{ s}^{-1}$$

9-Determinação do ângulo de abraçamento

$$\alpha = 180 - 57 * \frac{d_2 - d_1}{a} = 180 - 57 * \frac{560 - 125}{532} = 133,39^\circ$$

Este valor é maior que o mínimo admissível $[\alpha] = 120^\circ$ Para correias trapezoidais e por conseguinte não é necessário alterar a distância interaxial ou usar um dispositivo tensor/desviador.

10-Correção da distância interaxial 2

$$a = \frac{1}{8} * \left[2 * l - \pi * (d_2 + d_1) + \sqrt{[2 * l - \pi * (d_2 + d_1)]^2 - 8 * (d_2 - d_1)^2} \right]$$

$$\frac{1}{8} * \left[2 * 2240 - \pi * (560 + 125) + \sqrt{[2 * 2240 - \pi * (560 + 125)]^2 - 8 * (560 - 125)^2} \right]$$

$$= 538,8mm \approx 539mm$$

11-Determinação da potência transmissível por cada correia

$$P_c = \frac{P_0 * C_\alpha * C_l * C_i}{C_r} = \frac{2,4 * 0,86 * 0,96 * 1,14}{1} = 2,26kw$$

Onde:

C_α – É o coeficiente do ângulo de abraçamento = 0,86;

C_l – É o coeficiente de comprimento da correia (que considera a frequência de passagens U) segundo o gráfico da figura 12.27 = 0,96;

C_i – É o coeficiente da relação de transmissão segundo o gráfico da figura 12.28 = 1,14;

C_r – É o coeficiente de regime de carregamento = 1;

12-Determinação do número de correias

Considerando que se obterá um número de correias inferior a 6, $C_z = 0,95$ o número de correias para transmitir a potência total é:

$$z = \frac{P}{P_c * C_z} = \frac{10,43}{2,26 * 0,95} = 4,86$$

Toma-se construtivamente $Z=5$.

13-Determinação da força de tensão inicial em cada correia

$$F_0 = \frac{0,85 \times P \times C_r \times C_l}{z \times v \times C_\alpha \times C_i} + F_v$$

Note-se que:

$$F_v = \rho \times A \times v^2 .$$

Portanto:

$$F_v = 1250 \times 138 \times 10^{-6} \times 7,68^2 = 10,17 \text{ N}$$

Assim:

$$F_0 = \frac{0,85 \times 10,43 \times 10^3 \times 1 \times 0,96}{5 \times 7,68 \times 0,89 \times 1,14} + 10,17 = 228,6 \text{ N}$$

14-Determinação da força sobre os veios

$$F_r = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \times F_1 \times F_2 \times \cos \beta} \approx 2 \times F_0 \times \cos \frac{\beta}{2}$$

Para z correias multiplica-se a força em cada correia por z:

$$= 2 \times 228,6,3 \times \cos \frac{\beta}{2} \text{ Onde } \beta = 180 - \alpha = 180 - 133,39 = 46,61^\circ$$

$$= 2 \times 228,63 \times \cos \frac{46.61}{2} \times 3 = 1259.86 \text{ N}$$

15-Determinação da correia

$$T = T_{med} \times K_1 \times K_2 = 2000 \times 2,5 \times 1,0 = 5000 \text{ horas}$$

Onde:

T_{med} - É a vida útil da correia calculada para regime de exploração médio (com vibrações moderadas);

k_1 - É o coeficiente de regime de carga (dado juntamente com C_r).

K_2 - É o coeficiente que considera as condições climáticas:

$K_2 - 1$ Para zonas centrais;

$K_2 - 0,75$ Para zonas frias.

Nota: uma vez seguidas as recomendações para a escolha dos parâmetros das correias, o cálculo testador da resistência mecânica é escusado.

16-Escolha de material para a polia

A constituição típica de uma polia que comporta uma coroa (onde assenta a correia), o cubo (onde se instala o veio) e o disco ou braços, que se situam entre o cubo e a coroa.

Devido a altas velocidades das correias, as polias não só devem ter um elevado coeficiente de atrito como também outras características. As polias são fabricadas de diversos materiais, destacando-se o aço, o ferro-fundido, ligas leves e plásticos. As polias de ferro-fundido permitem velocidades até 30m/s e as de aço até 60m/s.

Deste modo, para o presente trabalho, escolhe-se o ferro-fundido porque além de serem, economicamente viáveis e não apresentarem o inconveniente do aumento da temperatura devido ao atrito, elas permitem atingir velocidades até 30m/s não obstante a velocidade deste caso ($v=7,68m/s$).

17-Determinação dos parâmetros geométricos das polias

Para a determinação do cálculo geométrico das polias usaram-se recomendações do manual de “ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO FLEXÍVEIS 2009, tabela 11- Dimensões dos perfis dos canais, página 32-33”

Tabela 7 Parâmetros geométricos das polias

Correias perfil	Angulo		T	S	W	Y	Z	H	K	U=R	X	L
	∅ externo em mm	Graus										
B	125 a 170		11,5	19	17	3	2	17	6,5	1	6,25	$2T+s(N-1)n$

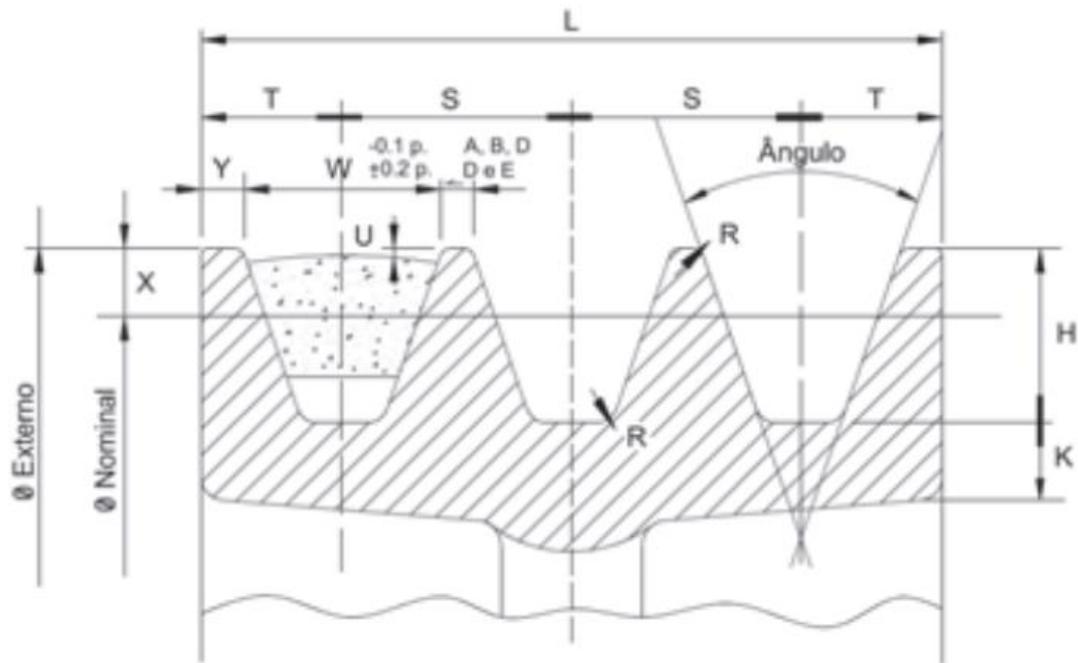


Figura 28 Parâmetros geométricos das polias

Onde:

f – distância entre a linha de centro do primeiro canal e a face mais próxima da polia;

e – distância entre as linhas de centros de dois canais consecutivos;

h – profundidade do canal abaixo da linha do diâmetro primitivo;

b – profundidade do canal acima da linha do diâmetro primitivo;

l_p – largura do canal na linha do diâmetro primitivo;

d_p – diâmetro primitivo da polia;

ϕ - Ângulo do canal;

l_s – largura superior do canal.

A largura da polia é dada por:

$$B = (z - 1) \times e + 2 \times f = (3 - 1) \times 15 + 2 \times 10 = 54 \text{ mm}$$

Determinação do diâmetro externo e interno da polia:

$$D_e = (d_p + 2 \times b) = (355 + 2 \times 3,3) = 361,6 \text{ mm}$$

$$D_i = (d_p + 2 \times (h + b)) = (355 + 2 \times (8,7 + 3,3)) = 379 \text{ mm}$$

Determinação da espessura mínima:

$$\delta = p \times 1,13 = 1 \times 1,3 = 1,3 \text{ mm}$$

Solução proposta

Com as inconveniências existentes sem o uso de equipamentos adequados, propõe-se a construção de uma bancada de testes para o compressor exaustor.

Bancada de testes

Uma bancada de testes é um espaço projectado para realizar experimentos e avaliações de produtos ou sistemas. Ela pode ser usada em diversos contextos, como em laboratórios de electrónica, engenharia, ciência de materiais, e até mesmo em software. A bancada de testes será projectada para avaliar o desempenho e a eficiência do compressor em condições controladas.

5.3. Análise da viabilidade da concepção da bancada

Projecto da Bancada

A estrutura principal estará fixa no chão solido e plano, em uma estrutura coberta;

A estrutura será feita de perfis de aço com perfil Rectangular.

Componentes de montagem

- Parafusos e porcas (para fixar as peças da estrutura);
- Base anti vibratória (para ajudar a minimizar a vibração durante os testes).

Sistemas de fixação

- Bolas de amortecimento (para suportar o compressor e o motor eléctrico, e reduzir a transmissão de vibrações);

Protecção e segurança

- Grades ou paines (para proteger áreas onde o acesso deve ser restrito durante os testes);
- Dispositivos de segurança (válvulas de alívio e outros componentes de segurança conforme necessário);

Acabamentos:

- Pintura (para a protecção contra a corrosão e estética)
- Revestimentos antiderrapantes (para áreas de acesso se necessário)

Instrumentação:

Tabela 8 Instrumentação

Designação	Função
Manómetro	Para medir a pressão de entrada e de saída do compressor
Termómetro	Para medir a temperatura de entrada e saída do compressor
Medidor de vazão (fluxómetro)	Para medir a vazão de ar no sistema
Transdutores de pressão	Para medições de mais precisas de pressão em diferentes pontos do sistema
Medidores de ruído	Para avaliar os níveis de ruído do compressor durante a operação, ajudando a identificar possíveis problemas mecânicos
Analisador de gás	Para verificar a qualidade do ar comprimido, especialmente se houver a necessidade de monitorar a presença de contaminantes
Dispositivos de controle	Controladores de válvula: para regular o fluxo de ar ou gás no sistema
Balanças (para medições da eficiência)	Para medir a entrada e saída de massa, ajudando a calcular a eficiência do compressor

Análise de Custos:

Custos da bancada

Tabela 9 Analise de Custos

Material/ item	Custo Unitário	Quantidade	Preço Total (MT)
Motor Elétrico	101679.088	1	101679.088
Correias	5801.25	5	29006.25
Perfis de aço	2900	2	5800
Polia com d1	5782	1	5782
Polia com d2	27440	1	27440
Tubulação	1800	2	3600
União da tubulação	150	9	1350
Reservatório de ar	-	1	-
Acoplamentos	-	2	-
Manómetro	710	2	1420
Termómetro	2254	2	4508
Pressostato	-	1	-
Mão-de-obra	-	-	25000
Total			205579.38

Alguns componentes não foi possível ter o preço pois não é feito a comercialização de forma particular, somente é feita para as instituições do ramo ferroviário, mas com base em conversas com alguns técnicos e engenheiros da empresa avaliaram o material em falta em cerca de 250 Mil Meticais.

Assumindo o valor dado temos o total de **455579.38Mt**

Algumas avarias identificadas no compressor exaustor em que a identificação e reparo não é possível na empresa, nesses casos o equipamento é enviado para a vizinha África do Sul pois eles têm o equipamento de testes, por vezes pelo custo de reparo serem altos a empresa opta em fazer a substituição do compressor exaustor e colocar um novo.

Um compressor novo está avaliado em mais de 500 a 900 Mil Meticalis.

Custos De reparação Actualmente

Pelas CFM não possuem a bancada de testes alguns testes do compressor exaustor, bem como a reparação de algumas avarias só é possível na África do Sul, país mais próximo que tem uma bancada de testes.

Descrição	Custo
Transporte	-
Substituição de peças	-
Mão-de-obra	-
Total	1.5 a 3milhoes de Meticalis

Nota: A CFM proibiu a divulgação de qualquer recibo ou cotação de serviços prestados a outras empresas. O valor acima foi adquirido através de entrevistas com Engenheiros, técnicos envolvidos nas reparações.

Conclusões

Com a bancada de testes nas CFM os custos necessários seriam somente das peças a serem adquiridas, pois a empresa possui mão-de-obra qualificada para as reparações.

Resultados esperados

Com a concepção da bancada espera-se:

- Independência nas reparações;
- Desenvolvimento de novas técnicas de diagnóstico e reparação;
- Redução de custos;
- Maior confiabilidade nas reparações;
- Redução no tempo de reparação;
- Disponibilidade dos equipamentos a tempo;

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

A monografia apresentada neste trabalho teve como objetivo o dimensionamento de uma bancada de testes para compressores exaustores, um equipamento crítico para o desempenho e a eficiência operacional das máquinas ferroviárias. Ao longo da pesquisa, foram abordados conceitos fundamentais relacionados ao funcionamento dos compressores, incluindo suas especificações técnicas, aplicações práticas e a importância do correto dimensionamento na garantia de resultados confiáveis durante os testes.

Inicialmente, foi realizada uma análise detalhada das características dos compressores exaustores utilizados em locomotivas, identificando os parâmetros que influenciam diretamente em sua operação e desempenho. Através de estudos de casos e revisões bibliográficas, foi possível compreender não apenas as exigências técnicas de funcionamento desses dispositivos, mas também os impactos que um teste inadequado poderia trazer, como falhas operacionais, baixa eficiência e custos elevados de manutenção.

Outro ponto importante levantado foi a questão da manutenção e do gerenciamento da bancada de testes ao longo do tempo. A rotina de inspeções e manutenções preventivas é vital para assegurar que a bancada opere sempre em condições ideais, minimizando riscos de falhas que possam comprometer as análises realizadas. Um cronograma de manutenção bem definido é fundamental para maximizar a vida útil da estrutura e dos equipamentos envolvidos.

Adicionalmente, a implementação de uma bancada de testes adequadamente dimensionada não apenas proporciona benefícios diretos em termos de confiabilidade e eficiência dos compressores exaustores, mas também contribui para a inovação no setor ferroviário. A partir dos dados obtidos nos testes, é possível realizar ajustes e melhorias no design e na fabricação dos compressores, promovendo avanços significativos na área. Isso pode resultar em locomotivas mais eficientes, com menor consumo de energia e redução nas emissões de poluentes, alinhando-se às diretrizes contemporâneas de sustentabilidade.

Por fim, esta monografia não apenas elucida a importância do dimensionamento correto de uma bancada de testes para compressores exaustores, mas também abre espaço para novas pesquisas e discussões sobre a otimização de processos e tecnologias no setor ferroviário.

Futuras investigações podem explorar a integração de novas tecnologias, como automação e inteligência artificial, com o propósito de melhorar ainda mais a eficiência dos testes e a análise de dados.

6.2. Recomendações

Com base no trabalho realizado recomenda-se a montagem de um sistema de segurança de ponta, que consiste em montar sistemas de desligamento automático em caso de falhas, bem como um sistema de combate a incêndios.

Recomenda-se também a fazer-se manutenções periódicas para o bom funcionamento bem como a conservação do equipamento.

A Realização de formações bem como workshops são também de grande importância pois poderá ajudar no melhoramento do projecto em questão, como ira aprimorar alguns conceitos em como fazer certas reparações.

CAPÍTULO VII REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

7.1. Referência bibliográfica

- [1]. CHARLES, Fayette Taylor. (1951) *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice*. Vol. I- Thermodynamics, Fluid Flow, Performance
- [2]. D.N. Reshetov. (1979). *Atlas de construção de Maquinas, Volumes I, II e III*, Brazil,
- [3]. MCGRAW, George S. (1967). *Air Compressors and Air Systems*. McGraw-Hill
- [4]. JOHNSON & WHITE, (1975) *Compressors and Modern Process Applications*. Prentice-Hall
- [5]. RALPH W. C. Henshaw (1997). *Compressed Air: Principles, Design, and Application*, CRC Press
- [6]. SMITH, Ian, (2005). *Screw Compressors: Mathematical Modelling and Performance Calculation*, Springer Berlin Heidelberg
- [7]. ROYCE N ,Brown (2005). *Compressors: Selection and Sizing. 3rd Edition* . P.E. RNB Engineering Houston, Texas.
- [8]. SITO E Rui. Vasco, (2004). *Apontamentos de disciplina de Órgãos de Maquinas I e II*, Departamento de Engenharia Mecânica da UEM, Maputo.
- [9]. SITO E Rui. Vasco, (2006). *Apontamentos de disciplina de Projecto Mecânico*, Departamento de Engenharia Mecânica da UEM, Maputo.

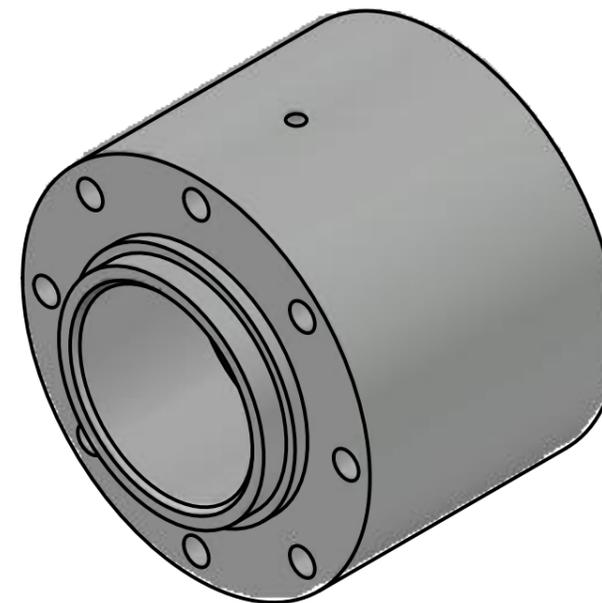
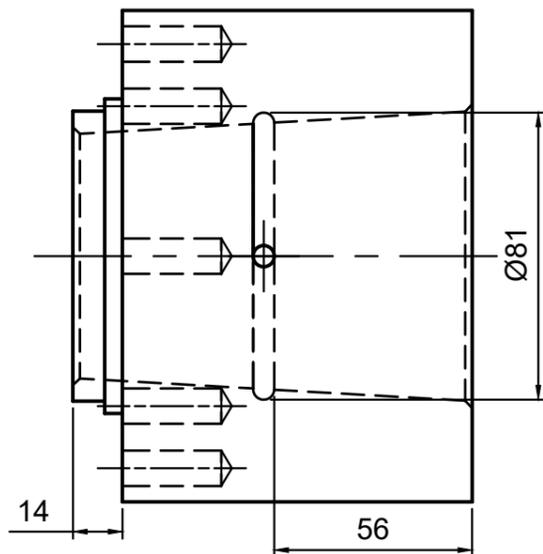
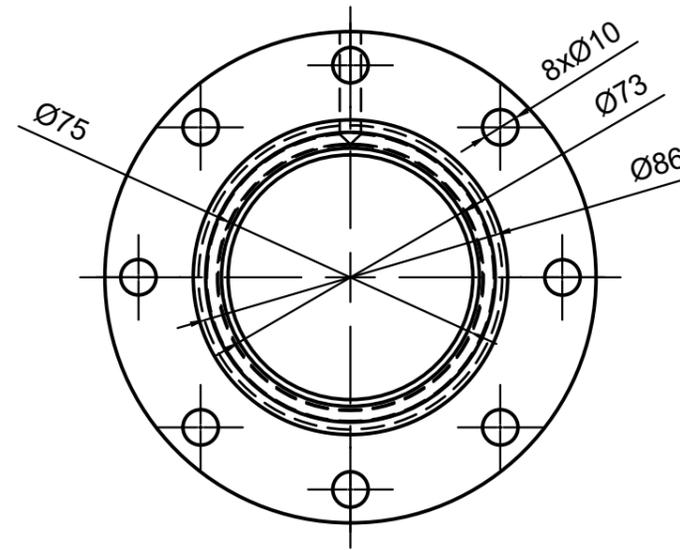
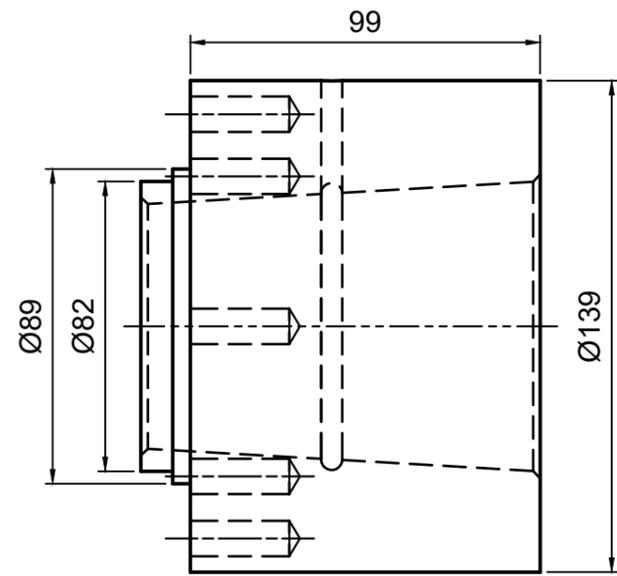
7.2. Outras referências consultadas

- [1]. [Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](#)
- [2]. [Home \(cfm.co.mz\)](#)
- [3]. <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/W22-W22-IR3-Premium-0-5-cv-4P-71-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B5D/p/11626524>
- [4]. <https://www.gardnerdenver.com/pt-br/locomotive-reciprocating-compressors>

Anexos

A3 – Desenho do acoplamento Rígido

A3 – Desenho da Estrutura



					RELATÓRIO DE ESTAGIO PROFISSIONAL DEMA		
					COD	Massa	ESCALA
			ASS.	DATA			1:1
Executou	Pereira	Robete	12/24		ACOPLAMENTO RÍGIDO		
Verificou							
					UEM - FE - DEMA		

