



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Engenharia Mecânica

Estágio profissional

**Análise de falhas mecânicas no sistema de tracção das locomotivas
da *General Electric***

Autor: Denício Anísio Ngulele

Supervisor da faculdade:

Eng^o Jaime Matavele

Supervisor da empresa:

Gil Francisco Julião Papalo

Maputo, Novembro de 2022



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Engenharia Mecânica

Estágio profissional

**Análise de falhas mecânicas no sistema de tracção das locomotivas
da *General Electric***

Autor: Denício Anísio Ngulele

Supervisor da faculdade:

Eng^o Jaime Matavele

Supervisor da empresa:

Gil Francisco Julião Papalo



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante número 20172324, entregou no dia 25 de Novembro de 2022 as 3 cópias do seu relatório de estágio profissional, intitulado Análise de falhas mecânicas no sistema de tracção das locomotivas da General Electric, realizado na empresa Caminhos de ferro de Moçambique.

Maputo, Novembro de 2022

A Chefe da Secretaria

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | III |
| Declaração de Honra | V |
| Índice de figuras | VI |
| Índice de tabelas | VII |
| Lista de Símbolos | VIII |
| Resumo | IX |
| Abstract | X |
| Capítulo I- Introdução | 1 |
| 1.1 Introdução | 1 |
| 1.2 Problemática | 2 |
| 1.3 Objectivos | 3 |
| 1.3.1 Geral | 3 |
| 1.3.2 Específicos | 3 |
| 1.4 Metodologia | 3 |
| 1.5 Estrutura do trabalho. | 4 |
| Capítulo II- Revisão da literatura | 5 |
| 2.1 Princípio de funcionamento das locomotivas | 5 |
| 2.1.1 Motor de tracção | 8 |
| 2.1.2 Pinhão | 10 |
| 2.1.3 Apoios Deslizantes | 12 |
| Capítulo III- Contextualização da investigação..... | 14 |
| 3.1 Descrição da Empresa Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM)..... | 14 |
| 3.1.1 Missão..... | 14 |
| 3.1.2 Visão..... | 14 |
| 3.1.4 Valores..... | 15 |
| 3.1.5 Oficinas Gerais | 16 |
| 3.1.5.2 Departamento de Produção Geral..... | 17 |
| 3.1.5.3 Departamento Material Rebocado | 18 |
| 3.1.5.4 Departamento Revisão de Material | 18 |
| 3.1.5.5 Departamento do Material Motor | 18 |

| | |
|---|----|
| 3.2 Informações Gerais sobre as ligações por pressão | 19 |
| 3.3 Causas da destruição da ligação | 20 |
| 3.4 Informações gerais sobre mancais de deslizamento | 21 |
| 3.5 Causas da destruição dos casquilhos | 21 |
| Capítulo IV – Metodologia de resolução de problema..... | 23 |
| 4.1 Cálculo da resistência da ligação veio do induzido (eixo) e pinhão..... | 23 |
| 4.1.2 Cálculo do Torque: | 25 |
| 4.1.3 Cálculo da força de aperto: | 26 |
| 4.2 Cálculo da viscosidade necessária para o funcionamento do mancal de deslizamento do motor de tracção..... | 28 |
| 4.2.1 Número de <i>Sommerfeld</i> (S) | 29 |
| Capítulo V- Apresentação, análise e discussão dos resultados | 34 |
| 5. Plano de mitigação das falhas em análise..... | 34 |
| 5.1 Destruição e deslizamento do pinhão sobre o eixo do motor de tracção..... | 34 |
| 5.2 Desgaste e gripagem dos casquilhos nos mancais de apoio do motor de tracção | 36 |
| Capítulo VI- Conclusões e recomendações | 38 |
| 6.1 Conclusões..... | 38 |
| 6.2 Recomendações | 39 |
| Referências Bibliográficas..... | 40 |
| Anexos | 41 |

Agradecimentos

Agradeço a todos que directa ou indirectamente contribuíram para que chegasse a este nível académico, sendo impossível fazer a minha vontade de listar a todos os contribuintes por nome.

Em primeiro lugar agradecer a minha mãe, Regina Joaquim e irmão Herculano Anísio Ngulele por removerem todo e qualquer possível obstáculo ao seu alcance para que a minha carreira académica pudesse decorrer sem sobressaltos.

Agradecer aos meus irmãos, Natália Ngulele, Zacarias Ngulele, Joaquim Ngulele, Coleta Ngulele, Ginoveva Ngulele, a minha parceira Gisela Mandlate e amigo Mirando Artur Uthui pelo suporte, paciência e aprendizados proporcionados.

Aos docentes do departamento, aos meus colegas e amigos cujos nomes não mencionei por toda ajuda durante essa caminhada longa e árdua. Aos meus supervisores, Jaime Matavele e Gil Francisco Julião Papalo pela disponibilidade apoio e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho. Por último, porém, não menos importante, a equipe da CFM em especial ao departamento de material motor, por ter facilitado a integração e o aprendizado durante o estágio.

à família Ngulele

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o presente trabalho foi resultado da minha investigação e do estágio profissional realizado na Caminhos de ferro de Moçambique (CFM) e que o mesmo foi concebido para ser submetido apenas para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Novembro de 2022

Denício Anísio Ngulele

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1:Componentes da locomotiva..... | 5 |
| Figura 2: Motor de tracção | 8 |
| Figura 3: Armadura do motor de tracção..... | 9 |
| Figura 4: Engrenagens motora e movida | 10 |
| Figura 5: Montagem do pinhão no veio..... | 11 |
| Figura 6: Apoio deslizante..... | 13 |
| Figura 7: Oficinas gerais da empresa | 16 |
| Figura 8: Estrutura orgânica da empresa | 16 |
| Figura 9:Departamentos da empresa | 17 |
| Figura 10: Departamento de produção geral | 18 |
| Figura 11: Departamento de material motor..... | 19 |
| Figura 12: Montagem do pinhão no veio..... | 20 |
| Figura 13: Características da ligação por pressão | 23 |
| Figura 14: Dimensões da ligação por pressão | 26 |
| Figura 15: Pinhão destruído..... | 27 |
| Figura 16: Montagem incorrecta do pinhão no veio..... | 27 |
| Figura 17: Características do apoio deslizante | 28 |
| Figura 18: Variáveis características do numero de Sommerfeld..... | 30 |
| Figura 19: Veio do rodado que ilustra contaminação da massa lubrificante no casquilho | 33 |
| Figura 20: Casquilhos desmontados..... | 33 |
| Figura 21: Montagem de vedantes na caixa de engrenagens..... | 37 |
| Figura 22: Vedantes da caixa de engrenagem | 37 |

Índice de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Características do motor de tracção | 30 |
| Tabela 2: Propriedades do óleo lubrificante | 31 |
| Tabela 3: Propriedades da massa lubrificante | 32 |

Lista de Símbolos

V - é a velocidade [m/s]

T - é o momento Torsor externo [Nm]

K - é um coeficiente de segurança

f - é o coeficiente de atrito entre as peças

d - é o diâmetro da superfície de contacto [m];

F_{ap} - é a força axial de aperto da ligação [N];

α - é o ângulo da inclinação da geratriz cone.

W_r - é a força radial no apoio [N];

μ - é a viscosidade dinâmica [Pa*s] ou [Mpa*s]

n - é a velocidade angular do veio [s^{-1}]

l - é o comprimento do apoio [m]

d - é o diâmetro do munhão [m]

S - é o Número de Sommerfeld, variável adimensional ou numero característico do mancal

φ - é a folga relativa no apoio $\varphi = \frac{r}{c}$

c - é a folga no apoio [m]

P - é Potência do motor de tracção [kw]

Resumo

O sector ferroviário, como as outras áreas da indústria moçambicana, está em constante busca pelo aumento da eficiência dos seus ativos. Para isso, surge a necessidade de implementação de ferramentas que auxiliam na identificação e prevenção de falhas. As falhas são caracterizadas pela incapacidade de um activo em desempenhar uma função requerida e representam uma interrupção no processo productivo, comprometendo a disponibilidade dos ativos e reduzindo a competitividade. Por isso, torna-se crucial o controle e prevenção das falhas, daí que diferentes ferramentas de análise estão disponíveis e auxiliam no controle e prevenção das mesmas

Segundo os dados fornecidos pela empresa Caminhos de ferro de Moçambique, o elemento que apresenta maior número de falhas nas locomotivas é o motor de tração. Este elevado número de ocorrências se deve as condições de operação que este elemento está sujeito, e pode causar problemas na operação das empresas do sector, consumindo um alto volume de recursos, tempo e de capital. Com isso, surge a necessidade de um estudo visando prevenir estas ocorrências. Este trabalho propõe uma análise das falhas ocorridas nestes motores, com o intuito de encontrar suas causas raízes e propor possíveis propostas de soluções para estas.

Palavras-chave: Motor de Tração. Análise de Falha. Pinhão. Casquilho.

Abstact

The railway sector, like other areas of the Mozambican industry, is constantly seeking to increase the efficiency of its assets. Therefore, there is a need to implement tools that help in the identification and prevention of failures. Failures are characterized by the inability of an asset to perform a required function and represent an interruption in the production process, compromising the availability of assets and reducing competitiveness. Therefore, the control and prevention of failures becomes crucial, hence different analysis tools are available and help in the control and prevention of them.

According to data provided by the company *Caminhos de Ferro de Moçambique*, the element with the highest number of failures in the locomotives is the traction engine. This high number of occurrences is due to the operating conditions that this element is subject to, and can cause problems in the operation of companies in the sector, consuming a high volume of resources, time and capital. Thus, there is a need for a study to prevent these occurrences. This work proposes an analysis of the failures that occurred in these engines, in order to find their root causes and propose possible solutions for them.

Keywords: Traction Engine. Failure analysis. Pinion. Bushing.

Capítulo I- Introdução

1.1 Introdução

O estágio Profissional é uma disciplina académica com a intenção introduzir ao estudante o mundo industrial, em outras palavras o estágio profissional mostra ao estudante o dia-a-dia da vida profissional de um engenheiro. A culminação de curso deve ser feita de forma a garantir a aplicação globalizante dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e permitir ao estudante demonstrar a capacidade de investigação e inovação durante a formação.

O presente trabalho está dividido em 6 capítulos, no terceiro faz-se apresentação da empresa portos e caminhos-de-ferro de Moçambique (CFM), ilustrando a organização bem como a estrutura da mesma. Apresenta-se também o Departamento onde foi realizado o trabalho de estágio.

Em seguida é feita uma Descrição em moldes gerais sobre o panorama das máquinas (Locomotivas) existentes na empresa, no desenvolvimento toma parte o projecto do relatório **Análise das falhas mecânicas no sistema de tracção das locomotivas da *General Electric***. E no final apresentam-se as conclusões e recomendações.

1.2 Problemática

As locomotivas de modelos *GE U20-C* são de sistema híbrido do tipo Diesel-eléctrica, nos quais um Motor Diesel V12 de quatro tempos é usado para accionar um gerador principal, um gerador auxiliar, gerador excitatriz e um compressor do ar, o motor acciona também o ventilador do radiador. A energia química em forma de gasóleo é transformada em energia mecânica pelo motor de combustão interna, que por sua vez, acciona o gerador principal que produz energia eléctrica. A corrente produzida pelo gerador, alimenta os 6 motores de tracção que accionam o rodado da locomotiva.

Destruição e deslizamento do pinhão sobre o eixo do motor de tracção

O accionamento do sistema de tracção é transmitido ao rodado a partir da engrenagem entre um pinhão acoplado ao veio a saída do motor de tracção e a roda dentada movida do rodado, ambas rodas dentadas cilíndricas e de dentes rectos montadas por pressão nos eixos. A destruição e o deslizamento do pinhão comprometem a paragem da locomotiva, visto que sem esses não haverá o movimento e de algum modo no motor eléctrico de tracção, a corrente eléctrica terá uma fuga facilitada aquando do deslizamento à soltura do pinhão, deste modo toda a corrente eléctrica produzida pelo gerador principal poderá fluir para este motor, o que pode causar sobrecarga.

Desgaste e gripagem dos casquilhos nos mancais de apoio do motor de tracção

O motor de tracção, é montado sobre o rodado por intermédio de dois casquilhos apoiados sobre os moentes centrais do eixo do rodado, este apoio do motor é fechado por duas caixas nas quais se encontram alojados o sistema de lubrificação com as respectivas chumaceiras. Um dos casquilhos é montado adjacientemente a caixa de engrenagens do Motor-Rodado, visto que a lubrificação das engrenagens e dos casquilhos é feita com recurso a lubrificantes de natureza diferente, a contaminação do lubrificante das engrenagens nos casquilhos, pode causar aquecimento, desgaste e gripagem resultando na destruição dos casquilhos e por fim comprometer o funcionamento apropriado do sistema de tracção.

1.3 Objectivos

1.3.1 Geral

O presente trabalho tem como objectivo geral, analisar as falhas nos componentes mecânicos do sistema de tracção das locomotivas GE U20-C, usadas para transporte de carga e passageiros na empresa Caminhos de ferro de Moçambique.

1.3.2 Específicos

- Identificar as falhas que ocorrem no sistema de tracção, bem como a sua origem;
- Analisar as falhas que ocorrem no sistema de tracção, com recurso ao cálculo da capacidade de trabalho;
- Propor medidas para mitigação das principais falhas.

1.4 Metodologia

A colecta de dados que tornou possível a realização deste trabalho, baseou-se em revisões literárias, consultas ou análises documentais, observações e entrevistas aos técnicos profissionais da empresa.

O trabalho foi elaborado e corrigido mediante as recomendações do supervisor da faculdade e do orientador da empresa, para questões de melhorias contínuas e para que o trabalho seja simples e claro. A interação com o orientador da empresa foi maioritariamente através da demonstração de impressões das partes que compõem o relatório e nalgumas vezes através do contacto via mensagens telefónicas ou mesmo chamada. A leitura de diferentes fontes relacionadas a confiabilidade foi de extrema importância para assimilar a matéria e dar mais ideias para o melhoramento da confiabilidade de diversas formas.

1.5 Estrutura do trabalho.

➤ Capítulo I – Introdução

Neste capítulo é feita a introdução do trabalho, a definição do problema, os objectivos do trabalho e a metodologia usada para a concepção do mesmo.

➤ Capítulo II – Revisão de Literatura

Neste capítulo é feito o desenvolvimento do trabalho, abordando todos aspectos relevantes para o tema em causa de modo a colocar a fundamentação teórica do mesmo.

➤ Capítulo III – Contextualização da investigação

Neste capítulo é apresentado o caso de estudo proposto pelo autor.

➤ Capítulo IV – Metodologia de resolução do problema

Aqui o autor apresenta a metodologia utilizada e tudo o que propõe de forma a melhorar o caso em estudo.

➤ Capítulo V – Apresentação, análise e discussão dos resultados

Nesta secção são apresentados os resultados da investigação e faz-se a análise dos mesmos.

➤ Capítulo VI- Conclusões e recomendações

Neste capítulo são apresentadas as últimas considerações do trabalho respondendo a cada objectivo específico. São ainda apresentadas as dificuldades enfrentadas durante a concepção do mesmo dando assim algumas recomendações.

Capítulo II- Revisão da literatura

2.1 Princípio de funcionamento das locomotivas

Actualmente a maior parte das locomotivas utilizadas para transporte de carga utilizam a tracção diesel-eléctrica, ou seja, um motor diesel gera energia mecânica através do calor gerado pela queima da mistura ar e combustível dentro dos cilindros do motor. A energia mecânica é transferida a um alternador/gerador acoplado a este motor transformando-a em energia eléctrica que é transferida para os motores de tracção acoplados aos rodados, conjunto formado por eixo, rodas e rolamentos, a fim de traccionar as locomotivas.

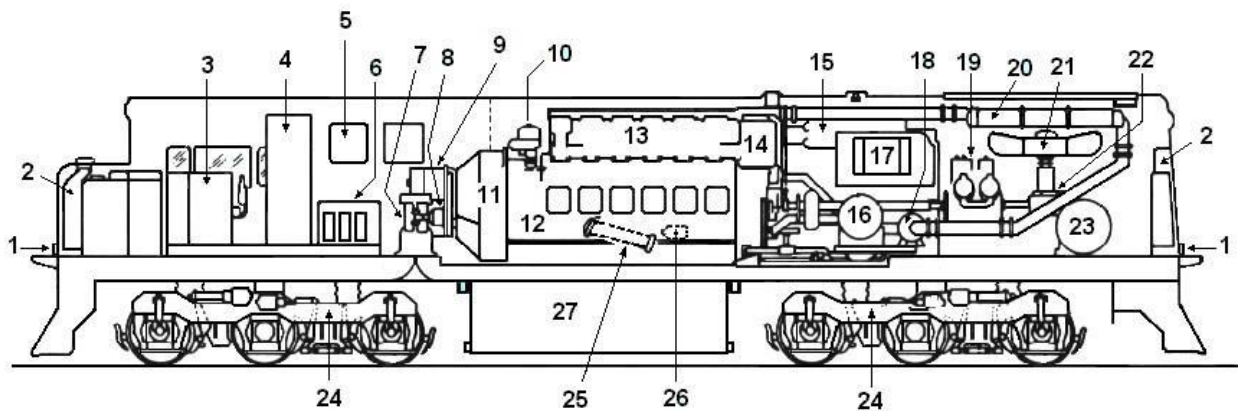


Figura 1: Componentes da locomotiva (Manual de introdução às locomotivas, CFM)

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1- Gancho de engate | 15- Tanque de água |
| 2- Reservatório de areia | 16- Panela de filtros |
| 3- Cabine de comando | 17- Alojamento dos filtros de ar |
| 4- Cabine de controle | 18- Resfriador de óleo |
| 5- Resistores do freio dinâmico | 19- Compressor |
| 6- Baterias | 20- Radiador |
| 7- Soprador dos motores de tracção | 21- Ventilador do radiador |
| 8- Gerador auxiliar | 22- caixa de engrenagens do ventilador |

- | | |
|---|---|
| 9- Gerador excitatriz | 23- Reservatório de ar |
| 10- Governador do motor diesel | 24- Bogie |
| 11- Gerador principal | 25- Alojamento dos filtros de combustível |
| 12- Motor diesel | 26- Bomba de transferência de combustível |
| 13- Conjunto de unidades de potencia do motor | 27- Tanque de combustível |
| 14- Reservatório de ar do motor | |

A bomba de combustível é accionada por um motor eléctrico, utilizando corrente da bateria, a bomba transfere combustível do tanque até as bombas ou injectores do motor diesel. A partida do motor diesel é feita pelo gerador a ele acoplado, sendo tal gerador momentaneamente utilizado como motor de arranque, a bateria fornece a corrente necessária para girar o gerador principal e dar a partida no motor diesel. Algumas locomotivas utilizam outros sistemas para a partida, como motores de arranque ou gerador auxiliar e excitatriz (caso da locomotiva GE U20-C).

Quando o motor diesel está em funcionamento, ele fornece energia mecânica através de eixos e acoplamentos para acionar directamente geradores eléctricos e, em grande parte das locomotivas, também o compressor de ar. o gerador auxiliar carrega as baterias e fornece corrente contínua em baixa voltagem para os circuitos de controle, de iluminação e de excitação do gerador principal. Vale destacar que alguns tipos de locomotiva utilizam outros sistemas para excitar o gerador principal, como excitatriz ou alternador. O gerador principal fornece corrente contínua (ou alternada, depois rectificada, dependendo do tipo de veículo) em alta voltagem aos motores de tracção para tracção da locomotiva.

Por meio dos comandos da cabine, diversos circuitos de baixa voltagem são estabelecidos para accionar o governador do motor diesel, assim como vários contadores, chaves e reles do armário de controle. Esses equipamentos eléctricos, ao funcionarem, completam outros circuitos ou produzem os efeitos desejados para a operação da locomotiva.

Seis motores de tracção ficam posicionados sob a locomotiva, sendo que cada um deles é directamente engrenado a um eixo e um par de rodas de tracção. Esses motores são localizados em dois bogies, que recebem e distribuem o peso da locomotiva às rodas motrizes;

A alavanca de aceleração comanda electricamente um governador, montado no motor diesel, que controla a sua velocidade e potência. O gerador principal converte a energia mecânica do motor diesel para energia eléctrica. Então, tal energia é distribuída aos motores de tracção, por meio de circuitos estabelecidos por diversos contadores localizados no armário de controle. Nas locomotivas cuja rotação do motor diesel é controlada por governador, um regulador de carga, regula a carga eléctrica sobre o motor em todas as posições da alavanca de aceleração. Nas locomotivas mais modernas, é o microprocessador que executa essa função;

O compressor de ar fornece aos reservatórios ar sob pressão, que é usado, principalmente, para os freios a ar. Tais freios são comandados pelo maquinista por meio de equipamento adequado, localizado na cabine. Com excepção da operação manual dos comandos da cabine, a operação da locomotiva é inteiramente automática. Vários dispositivos de alarme e de segurança alertarão o maquinista sobre qualquer dificuldade que ocorrer.

É importante mencionar que apesar de ser utilizado maioritariamente nas locomotivas, nem sempre o comando da aceleração do motor diesel é efectuado directamente pelo governador. Algumas locomotivas mais modernas utilizam microprocessadores e Unidades Governadoras, que, entre suas variadas funções, está o comando do sinal para a rotação do motor diesel. Assim, a injeção do combustível é controlada pelo sinal do microprocessador para o GVMD (Governador do motor diesel), e do microprocessador para a EGU ou ECU – injeção electrónica de combustível (EFI)

2.1.1 Motor de tracção

Segundo (Dalmasco 2010) nas locomotivas à diesel é indispensável a existência de um sistema de transmissão entre o motor diesel e as rodas, que transforme a potência mecânica fornecida pelo motor em esforço de tracção e velocidade nas rodas. No caso das locomotivas diesel-eléctricas, o sistema utilizado é o de transmissão eléctrica, onde o esforço mecânico do motor diesel é transmitido às rodas por meio de motores eléctricos de tracção. Para que isso ocorra, o motor diesel é acoplado a um alternador que produz energia eléctrica para alimentar os motores de tracção. Na CFM, os motores de tracção são de corrente contínua.

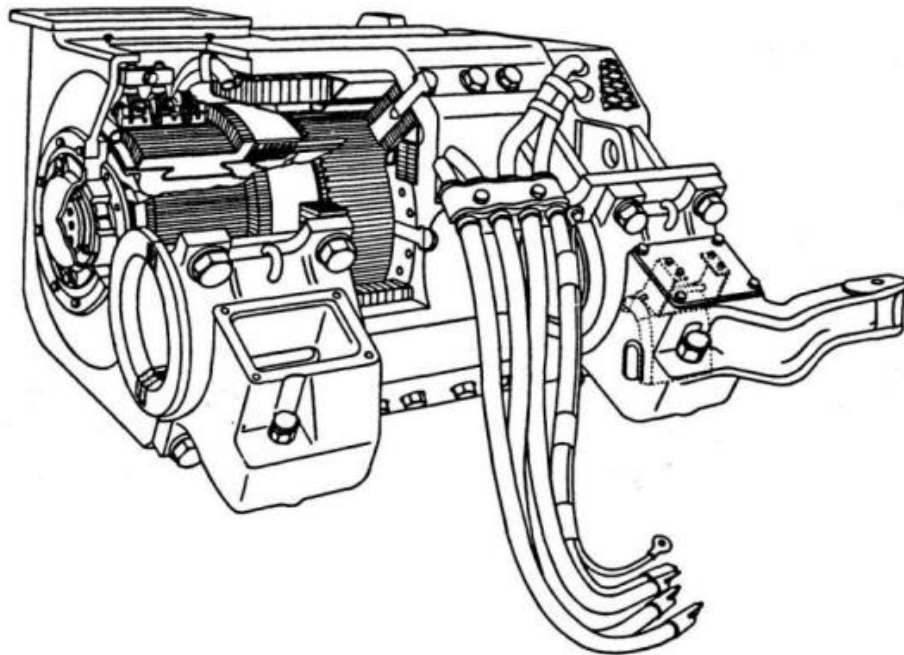


Figura 2: Motor de tracção (fonte: Dalmasco, 2010)

Os motores utilizados em tracção eléctrica devem possuir as seguintes características:

- Elevado conjugado de partida, sem que a corrente alcance valores excessivos;
- Regulação motora variável;
- Permitir a frenagem eléctrica, se possível com recuperação de energia;
- Rendimento elevado;
- Construção sólida.

Os motores de tracção de corrente contínua são constituídos de uma armadura e um estator. O estator consiste de uma carcaça, que contém quatro bobinas de campo, quatro pólos de comutação ou interpolos, quatro porta escovas e dois rolamentos para apoio do eixo da armadura. Electricamente, o campo de comutação é conectado em série com a armadura. Assim, o campo electromagnético produzido pelo interpolo é directamente proporcional à corrente da armadura, fornecendo desta maneira um alto torque de partida exigido pela locomotiva. A Figura 8 ilustra a armadura de um motor de tracção.



Figura 3: Armadura do motor de tracção (fonte: Dalmasco, 2010)

O funcionamento dos motores de tracção parte do momento em que ao ser energizado, o motor partirá e tenderá ao equilíbrio a certa velocidade, dependendo da corrente e da carga. O aumento de corrente ou a redução da carga fará com que a velocidade do motor de tracção aumente. Já com o aumento da carga ocorrerá o processo inverso. O fluxo de corrente através das bobinas de campo, produz uma polaridade definida em cada pólo, ou norte ou sul. Já o fluxo de corrente através da armadura e dos interpolos, produz a mesma polaridade na armadura que a do campo principal. Isto exerce uma força repulsora sobre a armadura, que faz com que ela gire.

A energia mecânica produzida é disponibilizada pelo motor na ponta de seu eixo e a transmissão de movimento para as rodas é efectuada por meio de um par de engrenagens cilíndricas, denominadas de pinhão e engrenagem ilustradas na Figura 4.



Figura 4: Engrenagens motora e movida (fonte: Borba 2011)

2.1.2 Pinhão

Nas locomotivas diesel eléctricas, o pinhão é o item responsável por transmitir a energia mecânica gerada nos motores de tracção para a engrenagem do rodeiro, e assim mover a locomotiva. Essa transmissão de energia é feita a partir do contacto dos dentes do pinhão com os dentes da engrenagem, fazendo assim com que o engrenamento correcto entre eles seja de extrema importância, pois irá garantir um bom funcionamento do sistema, evitando que haja uma parada por quebra ou desgaste precoce dos componentes.

O pinhão possui forma cilíndrica e é fabricado em aço médio carbono tratado termicamente. Por ter furo cónico não chavetado, ele é montado a quente na ponta do eixo do motor de tração. Sendo assim, sua fixação ocorre unicamente pela interferência eixo-pinhão. A Figura 5 ilustra o pinhão sendo montado na armadura.

Por receber cargas elevadas, tanto em momentos de tracção como de frenagem, o acoplamento entre pinhão e eixo se torna um ponto crítico, sendo comum a ocorrência dos seguintes defeitos:

- Quebra do dente do pinhão;
- Desgaste do dente do pinhão;
- Eixo do motor quebrado;
- Pinhão trincado.



Figura 5: Montagem do pinhão no veio (fonte: elaborado pelo autor)

Estas ocorrências geram a soltura do pinhão, fazendo com que o motor de tracção deixe de rotacional a engrenagem do rodeiro e, conseqüentemente, não traccione a locomotiva.

O tipo de suspensão do motor é feito por meio de mancais de fricção no próprio eixo das rodas permite ao motor oscilar sem variar a distância entre o eixo do motor e o eixo da roda. A montagem directa do motor sobre o eixo das rodas teria a vantagem de evitar a perda de energia nas engrenagens, mas obrigaria o uso de motores lentos e, por conseguinte, volumosos e de custo elevado.

2.1.3 Apoios Deslizantes

Os apoios deslizantes são empregues em várias aplicações e foram predominantes nas máquinas antigas. Há ainda muitas circunstâncias em que são mais vantajosos:

- Quando os eixos/veios são pesados e de grandes dimensões e não existe, portanto, um rolamento adequado ou este não é económico (como no caso em estudo);
- Nas máquinas precisas, onde se requer grande rigidez dos apoios e outros elementos do sistema;
- Para altas velocidades, $v > 30$ m/s, como acontece em eixos de algumas turbinas;
- Quando no funcionamento da máquina (especialmente do elemento apoiado) há cargas de choque e vibrações (como no caso em estudo)
- Quando há necessidade de garantir uma fácil desmontagem para manutenção;
- Quando no ambiente de funcionamento dos apoios há poluentes.

Os apoios deslizantes mais comuns são compostos normalmente por um corpo e um casquilho, mas há aplicações em que o apoio é apenas um furo lubrificado no corpo da máquina. Porém, este tipo de apoio não é muito utilizado pois não é fácil proceder à sua reparação/manutenção e por isso são preferidos os casquilhos, que podem ser fabricados de materiais especiais.

Os casquilhos podem ser fixos, móveis ou auto-alinhantes. Os casquilhos fixos são rígidos e têm desgaste localizado. Visto que os mancais deslizantes requerem folgas reduzidas, os casquilhos fixos podem não compensar os desalinhamentos. Por isso, devido à flexão, contactam com os veios e desgastam-se em posições diametralmente opostas, nos pontos de entrada e saída do veio no apoio. Os materiais dos casquilhos podem ser ferro fundido, bronzes, madeira, plásticos ou outros materiais anti-fricção. Em muitos casquilhos usa-se um revestimento superficial de metal com boas propriedades (exemplo, metal *Babbitt*) numa base de alumínio, aço, bronze, etc. Muitos casquilhos constituem uma ou duas partes finas de material especial que são montadas num corpo de um material comum (ex. Ferro-fundido ou aço).

O corpo (ou alojamento) é o elemento que protege e apoia o casquilho, podendo conter o lubrificante. Serve para a montagem do casquilho na máquina ou outro dispositivo.

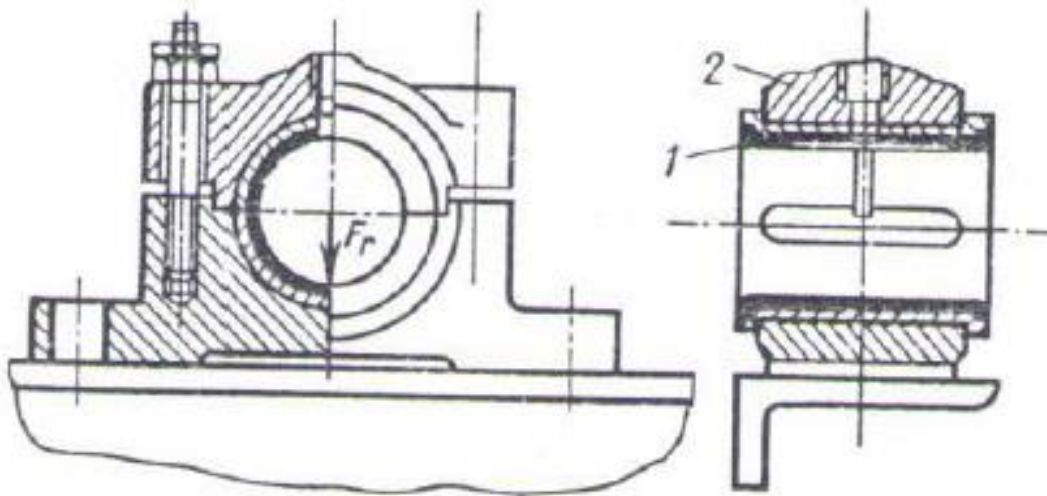


Figura 6: Apoio deslizante (fonte: Siteo, R. V. 2005)

Legenda:

- 1- Casquilho
- 2- Corpo

Capítulo III- Contextualização da investigação

3.1 Descrição da Empresa Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM)

A Porto e caminhos-de-ferro de Moçambique (CFM) é uma empresa moçambicana que actua na área do transporte ferroviário e na exploração portuária, satisfazendo as necessidades de mobilidade e deslocação da população e transporte de carga, contribuindo para o equilíbrio e melhoramento da balança de pagamentos do país. A empresa foi criada no âmbito da aprovação do diploma legislativo no 315, de 22 de Agosto de 1931. De entre outras funções, competia a empresa o seguinte:

- Promover e executar o estudo e a construção dos portos e caminhos-de-ferro, e o estabelecimento de quaisquer outros meios de transporte, em ligação com as explorações ferroviárias;
- Explorar comercial e industrialmente os portos e caminhos-de-ferro.

A caminhos de Ferro de Moçambique é uma empresa do ramo de transporte de carga em Moçambique, esta empresa opera nos locais do interior do país até à costa para exportação e importação de produtos.

3.1.1 Missão

Desenvolver o sistema ferro-portuária, para que seja moderno, eficiente, competitivo e orientado ao mercado.

3.1.2 Visão

Almejar ser uma empresa de referência e de melhor opção logística pela qualidade dos serviços e relacionamento.

3.1.3 Objectivos

- Promover e desenvolver as infra-estruturas ferro-portuárias;
- Operar o sistema ferro-portuário, promovendo actividade logística de bens, mercadorias e transporte de passageiro;
- Maximizar a racionalização do uso dos activos incrementando a sua rentabilidade.

3.1.4 Valores

- Boa governação
- Eficiência
- Credibilidade
- Socialmente responsável

3.1.5 Oficinas Gerais



Figura 7: Oficinas gerais da empresa (fonte: elaborado pelo autor)

As Oficinas gerais são responsáveis por assegurar a reparação e manutenção dos diversos equipamentos, máquinas e locomotivas da empresa CFM. As oficinas Gerais dos portos e caminhos-de-ferro de Moçambique estão divididas em departamentos e estes por sua vez em sectores, com hierarquia bem definida e estruturada (Fig.8).

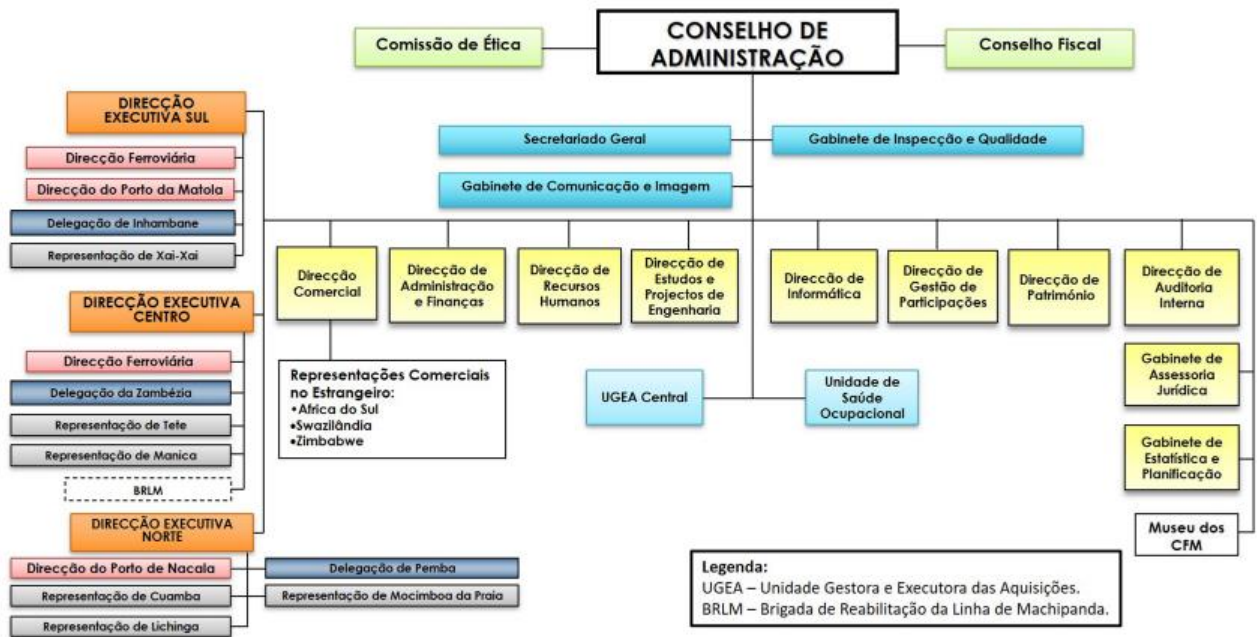


Figura 8: Estrutura orgânica da empresa (fonte: página online oficial da empresa)

Existem cinco departamentos que constituem as oficinas gerais dos CFM, nomeadamente:

- Departamento de conservação Oficinal
- Departamento de produção geral
- Departamento do Material Rebocado
- Departamento de revisão de Material
- Departamento do Material Motor



Figura 9: Departamentos da empresa (fonte: elaborado pelo autor)

3.1.5.1 Departamento de conservação oficinal

Este departamento é subdividido em dois sectores **Mecânico** e **Eléctrico** e é responsável por manter o bom funcionamento de todas máquinas ferramentas, pontes rolantes assim como as próprias instalações das oficinas gerais, tanto para os elementos mecânicos assim como para os eléctricos.

3.1.5.2 Departamento de Produção Geral

Este departamento faz o uso de máquinas ferramentas para a produção de peças e algumas ferramentas usadas dentro das oficinas, as peças produzidas poderão ser posteriormente aplicadas em outros departamentos de acordo com a funcionalidade da peça.



Figura 10: Departamento de produção geral (fonte: elaborado pelo autor)

3.1.5.3 Departamento Material Rebocado

Este departamento é subdividido em dois sectores sendo um de vagões e outro de carruagens, nestes sectores faz-se todo tipo de trabalho que diz respeito ao material rebocado, desde a serralharia, estufaria, montagem e pintura.

3.1.5.4 Departamento Revisão de Material

No departamento de revisão de material, conforme o nome sugere, faz-se a revisão do material circulante antes da saída para qualquer viagem.

3.1.5.5 Departamento do Material Motor

Nesse departamento é efectuada a manutenção dos componentes como motor diesel, gerador de tracção, ou seja, toda parte vital das Locomotiva. O departamento é subdividido em duas secções,

uma que faz a **manutenção preventiva** (Posto Diesel) e a de **manutenção correctiva**, nas quais, os trabalhos dividem se em mecânicos e eléctricos. Por sua vez o sector mecânico está subdividido nas seguintes brigadas: brigadas de reparação de *bogies*, brigada de reparação de radiadores, brigada de reparação de compressores, brigada de reparação de unidades de potência, brigada de desmontagem e montagem de componentes e um laboratório. Possui um gabinete de organização de trabalho (GOT) onde são planificadas todas as actividades.



Figura 11: Departamento de material motor (fonte: elaborado pelo autor)

Parte I

3.2 Informações Gerais sobre as ligações por pressão

As ligações por pressão (ou aperto) são feitas entre superfícies geralmente cilíndricas sem peças conjugadas. Nestas peças, uma delas constitui o "furo" e a outra o "veio" de um ajustamento com aperto. As ligações por aperto não requerem elementos adicionais do género de chavetas, pinos, parafusos, ou outros, bastando, apenas, as peças a ligar. Ao invés destes elementos adicionais, as forças e momentos são transmitidos por meio de forças de atrito geradas entre as superfícies das peças conjugadas. Estas forças de atrito são conseguidas por meio do aperto devido ao ajustamento forçado.

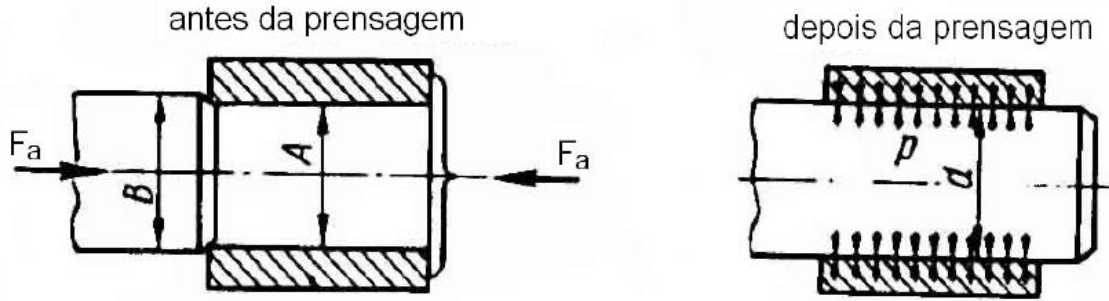


Figura 12: Montagem do pinhão no veio (Sitoe, R. V. 2005)

A resistência da ligação por pressão é conferida pela Ausência do deslocamento relativo e pela Ausência de destruição das peças.

Os defeitos Quebra do dente do pinhão, Desgaste do dente do pinhão, Pinhão trincado, fazem parte do factor destruição do pinhão, estes comprometem o funcionamento do pinhão paralisando a locomotiva. Podem ser causados por vários factores um dos principais que é através do aquecimento do pinhão na estufa para o processo de montagem a quente no veio do induzido.

3.3 Causas da destruição da ligação

O aquecimento do pinhão à temperatura acima da prevista para a montagem (190°C) pode induzir um tratamento térmico de Reozimento, este que altera a microestrutura da liga conferindo ao pinhão uma certa dureza superior.

Aumentada a dureza do pinhão, este no processo de arrefecimento após à montagem dá origem a trincas no corpo do pinhão e em casos de choque (processo de frenagem dinâmica) entre os dentes do pinhão e da roda movida, estes não resistem dando origem à quebra do dente.

No caso em que a força de aperto é demasiada grande, o pinhão é empurrado para a região do aumento do diâmetro no eixo cónico, o que possibilita o surgimento de fissuras no pinhão (Fig. 15 e Fig.16).

Aquecendo o pinhão pode-se conseguir uma combinação de dilatações/contracções térmicas capaz de possibilitar a montagem das peças sem destruição das rugosidades por raspagem. Porém, o aquecimento do cubo pode causar o revenimento das peças e por isso há limite de temperatura de aquecimento.

Parte II

3.4 Informações gerais sobre mancais de deslizamento

Segundo Budynas (2008) o mancal é o elemento mecânico que tem a finalidade de suportar uma carga a qual está submetida um eixo e ao mesmo tempo possibilitar a sua rotação. Há mancais de deslizamento que também podem proporcionar o movimento linear em um eixo, porém, independentemente de haver deslizamento linear ou rotacional, preferencialmente deve haver um lubrificante entre o eixo e o mancal, e caso isso não seja possível, o material do casquilho a ser escolhido deve ter propriedade de auto-lubrificação, condição pela qual são enquadrados como **mancais com lubrificação marginal**. Quando se opta por uma lubrificação entre casquilhos e eixos, normalmente com materiais metálicos, ele passa a ser denominado de **mancais com lubrificação completa**, podendo ser hidrodinâmica ou hidrostática.

Quando se refere a mancais de deslizamento, existem basicamente dois tipos: **de munhão (bucha)** e **axiais (escora)**. No caso em estudo, são abordadas as buchas de movimento circular (rotação), bipartidas, e de lubrificação completa e hidrodinâmica.

3.5 Causas da destruição dos casquilhos

A presença de contaminantes num sistema de lubrificação pode afectar o lubrificante nas suas propriedades físicas e químicas, dependendo da sua natureza. A alteração da viscosidade do lubrificante, com a consequente modificação da sua aptidão para garantir a separação das superfícies, é a principal consequência da presença de contaminantes. Assim a presença de água ou outros fluidos num lubrificante provoca uma diminuição de viscosidade, ao contrário do que

sucedem com contaminantes sólidos ou de densidade maior que a do lubrificante em questão que originam o aumento da viscosidade.

O lubrificante tem como uma das funções evacuar o calor dissipado no contacto, por efeito do atrito entre as superfícies, entre estas e o lubrificante e entre as moléculas do lubrificante. A existência de contaminantes é responsável pelo aumento do calor gerado no contacto pois provoca aumento do atrito, factor que causa o desgaste e/ou gripagem dos casquilhos nos mancais.

No caso em estudo, o lubrificante dos mancais de deslizamento sofre contaminação pela massa lubrificante da caixa de engrenagens do motor de tracção. Estes dois lubrificantes têm viscosidade e massas específicas diferentes, o que gera a formação de um líquido lubrificante com viscosidade fora dos padrões de funcionamento do mancal.

Capítulo IV – Metodologia de resolução de problema

Parte I

4.1 Cálculo da resistência da ligação veio do induzido (eixo) e pinhão

Um dos meios comumente empregues como alternativa às exigências de precisão das ligações cilíndricas é o uso de ligações cónicas que não são muito sensíveis à variabilidade dimensional e podem recuperar a capacidade de trabalho mesmo após várias desmontagens.

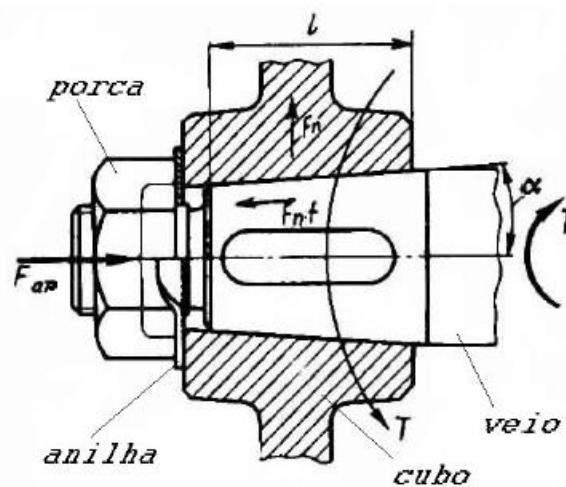


Figura 13: Características da ligação por pressão (fonte: Sítio, R. V. 2005)

O aperto entre as peças origina uma pressão mútua e é conseguido através das diferenças do diâmetro e da inclinação nas duas peças. As superfícies cónicas internas e externas são apertadas uma contra a outra por meio de uma força axial (Fig. 13) que gera uma força normal à superfície cônica capaz de criar atrito suficiente para transmitir momentos torsores ou cargas axiais.

A força axial de aperto da ligação F_{ap} pode ser gerada utilizando roscas, forças de inércia e outros meios.

Para a transmissão de um momento torsor externo T , a condição de capacidade de trabalho pode ser expressa como a “ausência de deslizamento entre o cubo e o veio” o que equivale a afirmar que o momento torsor externo não pode superar o momento torsor que as forças de atrito podem suportar:

$$T \leq T_{atrito} \quad (1)$$

A força normal que se cria na superfície cónica devida à força de aperto exercida pela rosca tem uma componente axial contrária à força de aperto cujo valor pode ser descrito por:

$$F_n * \text{sen} \alpha \quad (2)$$

Por outro lado, no momento do aperto da ligação, as superfícies cónicas deslizam uma sobre a outra gerando uma força de atrito cujo valor é:

$$F_n * f * \text{cos} \alpha \quad (3)$$

A força que a rosca deve vencer estas duas forças durante a montagem, o que significa que a força de aperto pode ser expressa por:

$$F_{ap} = F_n * \text{sen} \alpha + F_n * f * \text{cos} \alpha \quad (4)$$

Ou seja: $F_n = \frac{F_{ap}}{\text{sen} \alpha + f \text{cos} \alpha} \quad (5)$

Se o valor de α é pequeno e o cubo não é muito comprido, então o diâmetro médio da ligação é aproximado aos diâmetros mínimo e máximo, o que permite usar uma designação genérica d e reescrever a condição de capacidade de trabalho como:

$$T \leq T_{atr} = F_n * f * \frac{d}{2} \quad (6)$$

E introduzindo a expressão (5) à (6) obtemos:

$$T \leq \frac{F_{ap} * f}{\text{sen} \alpha + f \text{cos} \alpha} * \frac{d}{2} \quad (7)$$

Para fins construtivos usa-se a expressão (8), que incorpora um coeficiente e segurança:

$$K * T \leq \frac{F_{ap} * f * d}{2 * (\text{sen} \alpha + f \text{cos} \alpha)} \quad (8)$$

Onde:

T – É o momento Torsor externo [Nm]

K —É um coeficiente de segurança: $K \approx 1.5...2$;

f —É o coeficiente de atrito entre as peças (0.12...0.14)

d —É o diâmetro da superfície de contacto (que pode ser escolhido o mínimo ou o máximo) [m];

F_{ap} —É a força axial de aperto da ligação[N];

α — É o ângulo da inclinação da geratriz cone.

4.1.2 Cálculo do Torque:

O motor de tracção do tipo 5GE-761-A12 usado na locomotiva GE U20-C tem as especificações técnicas seguintes:

$$P=1250 \text{ kW} \quad n=3100 \text{ rpm}$$

diâmetro do veio do induzido $d = 82.677 \text{ mm} = 0.0827 \text{ m}$

$$T = 9550 * \frac{P}{n} \quad (9)$$

$$T = 9550 * \frac{1250}{3100} = 3850.81 \text{ Nm}$$

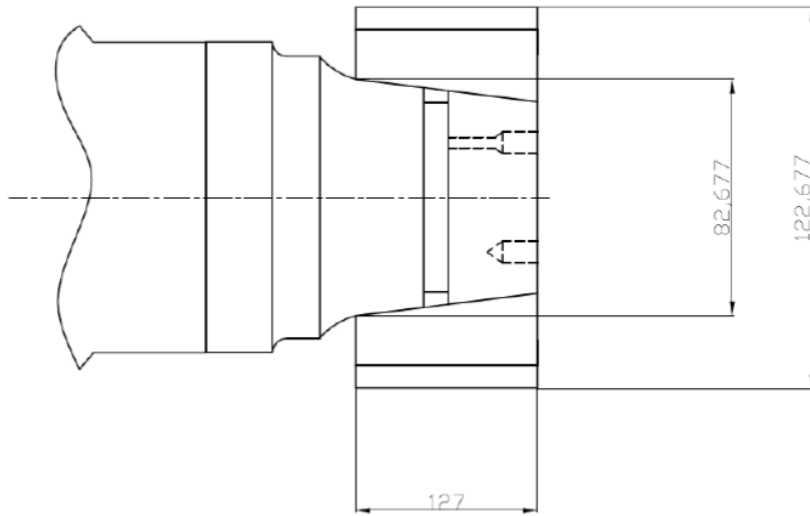


Figura 14: Dimensões da ligação por pressão (fonte: desenhado pelo autor)

4.1.3 Cálculo da força de aperto:

A conicidade de 0.625 ± 0.0025 dá um ângulo de inclinação da geratriz de $\alpha = 0.625^\circ$ e tendo $f = 0.13$ e $K = 1.75$:

$$F_{ap} = \frac{2 * (\sin \alpha + f * \cos \alpha) * K * T}{f * d} \quad (10)$$

$$F_{ap} = \frac{2 * (\sin 0.625^\circ + 0.13 * \cos 0.625^\circ) * 1.75 * 3850.81}{0.13 * 82.677 * 10^{-3}}$$

$$F_{ap} = 17.679 \text{KN}$$

Se por algum motivo a força de aperto real $F_{ap}(real)$ for maior que $F_{ap}(calculada)$, o cubo será forçado a deslocar-se para a zona elevada do veio consequentemente aumentando o aperto da ligação podendo atingir valores limites do escoamento do material do cubo.

As imagens a seguir ilustram um pinhão que foi montado com a força de aperto maior que a nominal e força de aperto menor que a nominal.



Figura 15: Pinhão destruído (fonte: elaborado pelo autor)



Figura 16: Montagem incorrecta do pinhão no veio (fonte: elaborado pelo autor)

Parte II

4.2 Cálculo da viscosidade necessária para o funcionamento do mancal de deslizamento do motor de tracção.

O calculo da viscosidade para os mancais de deslizamento em questão, é feito com base no atrito líquido, este cálculo é feito com base nas equações da hidrodinâmica, com utilização das dimensões e forma da folga entre o veio e o casquilho

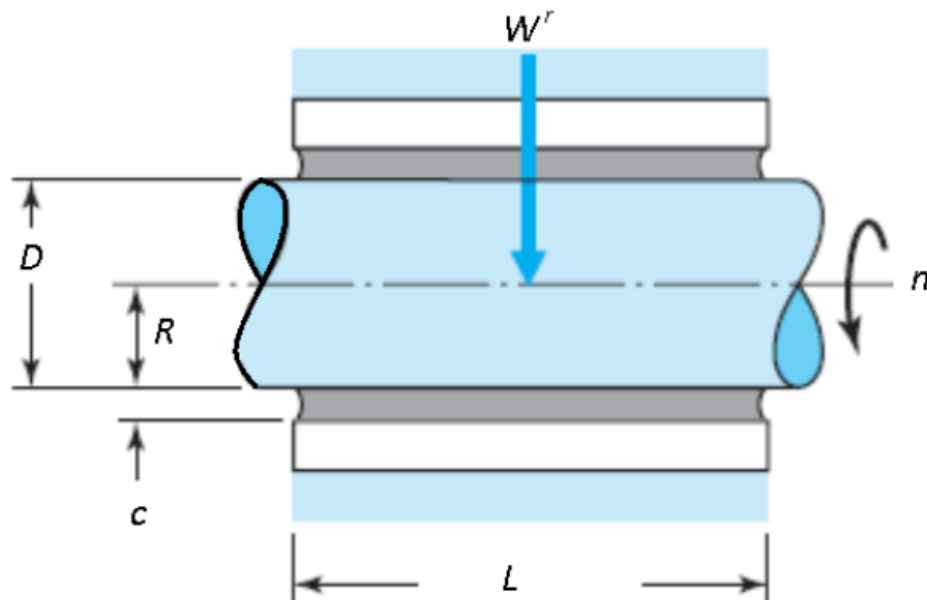


Figura 17: Características do apoio deslizante (fonte: Budynas 2008)

$$W_r = \frac{\mu * n * l * d}{s} * (\varphi)^2 \quad (11)$$

Onde:

W_r – é a força radial no apoio [N];

μ -é a viscosidade dinâmica [Pa*s] ou [Mpa*s]

n –é a velocidade angular do veio[s^{-1}]

l –é o comprimento do apoio[m]

d –é o diâmetro do munhão[m]

S –é o Número de Sommerfeld, variável adimensional ou numero característico do mancal

φ –é a folga relativa no apoio $\varphi = \frac{r}{c}$

c - é a folga no apoio[m]

4.2.1 Número de *Sommerfeld* (S)

Para Budynas (2008) funcionamento de um mancal com lubrificação hidrodinâmica completa pode ser caracterizada pela variável adimensional de *Sommerfeld*, também chamada de “número característico do mancal:

$$S = \frac{\mu * n}{P} * \left(\frac{r}{c}\right)^2 \quad (12)$$

onde P é a pressão na superfície carregada que é definida pela carga radial, W_r dividida pela área projectada da superfície do mancal, que é o diâmetro nominal interno da bucha ou diâmetro nominal do eixo, d , vezes o comprimento do mancal, l , conforme a Equação:

$$P = \frac{W_r}{l * d} \quad (13)$$

Para encontrar o S na fase de projecto de mancal com lubrificação completa, é necessário encontrar a relação da espessura mínima de película ($h_o = 0.00025 * d$) com a folga radial, h_o/c , dessa forma, é possível usar o gráfico da (Fig. 18) que apresenta no eixo horizontal o número característico do mancal, S , e no eixo vertical a variável da espessura mínima de filme, h_o/c . Nesse gráfico pode ser escolhida uma das curvas que tem a relação de diâmetro nominal e comprimento da bucha l/d . As linhas tracejadas na (Fig. 18) representam fronteiras recomendadas para a carga máxima, W , e o coeficiente mínimo de atrito, f .

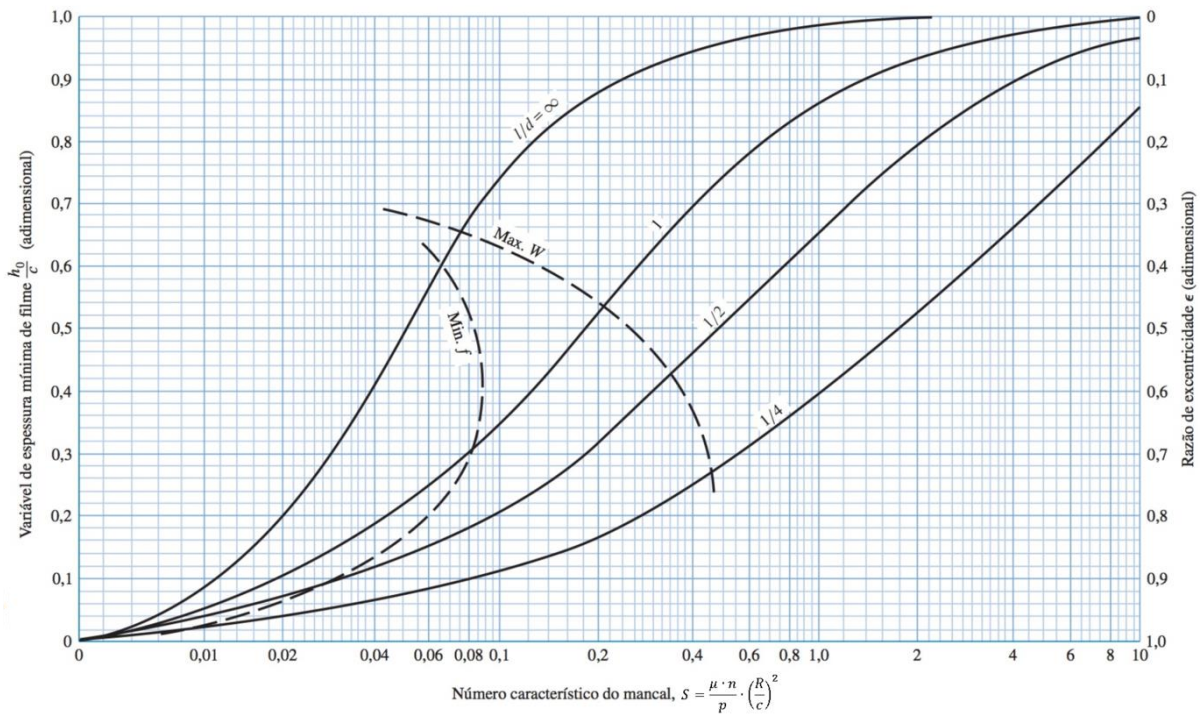


Figura 18: Variáveis características do numero de Sommerfeld (fonte: Budynas, 2008)

O motor de tracção do tipo 5GE-761-A12 usado na locomotiva GE U20-C tem as especificações técnicas seguintes:

Tabela 1: Características do motor de tracção

| | | | |
|--|----------------------|----------------------|------------------------|
| Diâmetro do veio do rodado | $d_{min} = 184.13mm$ | $d_{max} = 184.18mm$ | $d_{med} = 184.15mm$ |
| Folga entre o veio e casquilho | $c_{min} = 0.356mm$ | $c_{max} = 2.032mm$ | |
| Largura do casquilho | $l = 190mm$ | | |
| Temperatura de funcionamento | $T = 70^{\circ}C$ | | |
| Relação de transmissão da caixa de engrenagens | $i = 93/18$ | | |
| Velocidades angulares | $n_1 = 3100rpm$ | $n_2 = 600rpm$ | $\omega_2 = 62.8rad/s$ |
| Massa que actua em cada eixo do rodado | $m = 20T$ | | |

Com o valor da espessura mínima do filme $h_o/c_{min} = \frac{0.00025*d}{0.356} = \frac{0.00025*184.155}{0.356} = 0.13$ e a relação $l/d = \frac{190}{184.155} \approx 1$, damos entrada ao gráfico da (Fig. 18) e retiramos o numero de *sommerfeld* $S = 0.0283$.

Isolando μ em (12):

$$\mu = \frac{W_r * s}{n * l * d} * \left(\frac{c}{r}\right)^2 \quad (14)$$

E obtém-se:

$$\mu = \frac{20000 * 9.81 * 0.0283}{62.8 * 0.19 * 0.185} * \left(\frac{0.356}{92.078}\right)^2$$

$$\mu = 0.0376 \text{ Pa} * s$$

$$\mu = 37.6 \text{ mPa} * s$$

Portanto, a viscosidade do lubrificante em uso deve ser próxima ao valor da viscosidade calculada. Para lubrificação dos mancais nos rodados das locomotivas da empresa, é usado o óleo lubrificante **Castrol AWS 68**, que tem as seguintes propriedades:

Tabela 2: Propriedades do óleo lubrificante

| Propriedades | 20°C | 70°C |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Viscosidade estática | 68mm ² /s | 28mm ² /s |
| Viscosidade dinâmica | 61.2 mPa * s | 33.44 mPa * s |
| Massa específica | 900 ^{Kg} /m ³ | 880 ^{Kg} /m ³ |

A condição de uso de lubrificante para o mancal é satisfeita pois: $\mu_{calculada} \approx \mu_{lubrificante}$

A caixa de engrenagens esta sujeita a funcionamento em ambientes que podem ser húmidos, e podem conter poeira, por isso é usada uma massa lubrificante a base de minerais. A massa lubrificante **Loco G5 Grease**, é comercializada pela óleos Moçambique Lda e contem as seguintes propriedades:

Tabela 3: Propriedades da massa lubrificante

| Propriedades | 20°C | 70°C |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Viscosidade estática | $430\text{mm}^2/\text{s}$ | $360\text{mm}^2/\text{s}$ |
| Viscosidade dinâmica | $424.84\text{ mPa} \cdot \text{s}$ | $352.8\text{ mPa} \cdot \text{s}$ |
| Massa específica | $988\text{Kg}/\text{m}^3$ | $980\text{Kg}/\text{m}^3$ |

À temperatura de funcionamento, a viscosidade dinâmica da massa lubrificante da caixa de engrenagens é muito maior do que a viscosidade dinâmica calculada, factor que prejudica o funcionamento do mancal em caso de contaminação por esta massa.

Com uma inspecção visual nos casquilhos desmontados e no veio do rodado, é possível identificar a contaminação do lubrificante e os efeitos da gripagem por ela causada.



Figura 19: Veio do rodado que ilustra contaminação da massa lubrificante no casquilho (fonte: elaborado pelo autor)



Figura 20: Casquilhos desmontados (fonte: elaborado pelo autor)

Capítulo V- Apresentação, análise e discussão dos resultados

5. Plano de mitigação das falhas em análise.

Parte I

5.1 Destruição e deslizamento do pinhão sobre o eixo do motor de tracção.

Os defeitos de destruição e deslizamento do pinhão são maioritariamente causados pela falta de cuidado e o não cumprimento dos passos de montagem do pinhão e também falta de equipamentos adequados. Através de investigações feitas por mim, recolhi informações adequadas em fontes e também conclusões a partir das disciplinas que aprendi para elaborar um plano de mitigação e propor a empresa.

Para montagem do pinhão

Para evitar que o pinhão deslize é indispensável que todos os entalhes ou asperezas no eixo do induzido ou no pinhão sejam removidos com o papel de esmeril fino (tal como Triemite número 400A, ou mesmo o mais fino) à mão. As limas, retificadoras de mão, compostos de polir com disco e papel de esmeril grosso, não devem nunca ser utilizados.

Não deve se esmerilar com máquina os ajustamentos cónicos, pois para o ângulo 0.625° uma simples alteração de $0,001 \text{ pol}$ ($0,025 \text{ mm}$) no diâmetro resulta num avanço de $0,019 \text{ pol}$ ($0,48 \text{ mm}$). Qualquer pequena alteração no diâmetro faz com que o pinhão avance demais, permitindo que o pinhão assente no raio do eixo do induzido. Isso fará que a pressão de interação mútua entre o veio e o pinhão se eleve para além da tensão de cedência do pinhão e cause a destruição deste.

Os encaixes do pinhão e do eixo devem estar inteiramente livres de qualquer óleo, de materiais estranhos ou contaminantes. Não deve se usar as mãos ou trapos sujos para limpar os encaixes, deve se usar panos limpos e humedecidos com um solvente apropriado.

É indispensável proceder com máximo cuidado para assegurar que os encaixes do pinhão e do eixo estejam inteiramente livres de materiais estranhos na montagem do pinhão. Não deve se utilizar a mão ou outros trapos sujos para limpar os ajustamentos. O funcionamento satisfatório do pinhão depende dos estados de limpeza dos encaixes e da montagem correcta do pinhão no eixo.

Para montagem do pinhão deve se proceder da seguinte maneira:

1. Limpar o eixo do pinhão e o orifício do pinhão com um solvente apropriado (Benzil).
2. Remover todos os riscos, entalhes ou asperezas das secções cónicas do pinhão e do eixo.
3. Colocar com à mão o pinhão frio no eixo, medir e anotar a posição do pinhão em relação à ponta do eixo com o calibre medidor do avanço do pinhão, Cat. 6734861 G1.
4. Retire o pinhão do eixo e marque-o para que ele volte a ser montado em seu próprio eixo.
Nota: Não perturbe o ajustamento zero do calibre medidor do avanço do pinhão senão depois de concluídas todas as leituras no pinhão.
5. Imediatamente antes de aquecer o pinhão, aplique com um pincel uma boa camada de Nalco RC no orifício do pinhão, e limpe o pinhão até deixá-lo seco sem dar tempo a que o Nalco seque por si mesmo. Utilize um papel absorvente que não esteja impregnado com óleo ou graxa para secar o orifício do pinhão. Jogue fora o papel utilizado para secar o pinhão. Não deve ficar nenhuma película no orifício do pinhão, se houver película, repita o processo de limpeza.
6. Após o aquecer o pinhão a 190°C, assente no eixo de modo a que não haja folga ente a ligação, recomenda-se que a extremidade do pinhão esteja no intervalo de 2 à 3 milímetros da extremidade do eixo do motor de tração para que não se eleve o valor da força de aperto ou para que não haja deslizamento do pinhão.

Parte II

5.2 Desgaste e gripagem dos casquilhos nos mancais de apoio do motor de tracção

A contaminação do óleo lubrificante pela massa lubrificante é principalmente causada pela infiltração deste por falha na montagem dos vedantes e das próprias caixas de engrenagem, uma das falhas é ilustrada na figura 21 onde no processo de montagem, não se obedeceu o principio de redundância na colocação dos vedantes na caixa de engrenagem, outra falha é o uso de vedantes não recomendados pelo fabricante das locomotivas como é ilustrado na figura 22. Portanto, recomenda-se que no processo de montagem:

1. Deve-se fazer limpeza das caixas de engrenagem, limpando a massa lubrificante ou quaisquer resíduos de poeira nos canais de instalação dos vedantes e no interior das caixas usando diesel, que dissolve a massa lubrificante;
2. Deve-se fazer limpeza do pinhão e da roda mandada para remoção da massa lubrificante;
3. Deve-se colocar os vedantes de feltro compostos pela lamina de aço para evitar que o feltro seja deformado pelos batimentos radiais do veio do rodado, permitindo assim que haja vazão da massa lubrificante, deve-se também obedecer o principio da redundância na parte interna da caixa de engrenagens;
4. Deve se limpar o eixo do rodado e os casquilhos com diesel e em seguida com um pano seco antes da montagem;
5. Após a montagem do motor de tração, deve se abastecer a massa lubrificante na caixa de engrenagens e o óleo lubrificante no cárter do mancal antes que o conjunto seja montado na locomotiva.



Figura 21: Montagem de vedantes na caixa de engrenagens (fonte: elaborado pelo autor)



Figura 22: Vedantes da caixa de engrenagem(Fonte: elaborado pelo autor)

Capítulo VI- Conclusões e recomendações

6.1 Conclusões.

O cálculo da capacidade da ligação foi feito com a intenção de demonstrar a sua resistência face a realidade, pelo que não se espera muita responsabilidade nesta ligação para cargas elevadas como a tracção duma locomotiva. Através de cálculos conferimos a resistência quanto à destruição e pode se afirmar que o material do cubo (neste caso a roda pinhão) encontra-se em constante escoamento o que o expõe à destruição em primeiro lugar em relação ao veio do induzido.

O aquecimento do pinhão à temperatura acima da prevista para a montagem (+190°C) pode induzir um tratamento térmico de recozimento, que altera a microestrutura da liga, conferindo ao pinhão uma certa dureza superior e deste modo enfraquecendo a resistência ao choque entre os dentes.

O lubrificante tem como uma das funções evacuar o calor dissipado no contacto, por efeito do atrito entre as superfícies, entre estas e o lubrificante e entre as moléculas do lubrificante. A existência de contaminantes é responsável pelo aumento do calor gerado no contacto pois provoca aumento do atrito, factor que causa o desgaste e/ou gripagem dos casquilhos nos mancais. Esse factor faz com que haja necessidade de aumento do torque e consequentemente, aumento da corrente eléctrica para a locomoção do comboio, e em termos gerais reduz o rendimento da locomotiva.

De acordo com os objectivos específicos apresentados no capítulo I deste trabalho, conclui-se que as principais falhas mecânicas decorrentes no sistema de tracção das locomotivas, são causadas principalmente pelos erros da mão de obra no processo de montagem dos componentes.

Assim, pode-se concluir que apesar dos pinhões e caixas de engrenagens serem itens robustos, sua instalação necessita de grandes cuidados e atenção na execução, visto que eles trabalham em condições severas.

Por fim, conclui-se que os objectivos foram alcançados na totalidade, pois foi possível a elaboração de propostas de planos de acção e de manutenção para a mitigação das principais falhas.

6.2 Recomendações

Com vista a aplicar-se da melhor forma o plano de mitigação das falhas, recomenda-se a empresa caminhos de ferro de Moçambique a introdução de algumas medidas com vista a trazer-se um resultado significativo na redução dessas falhas, sendo elas:

- ✓ Aplicação de treinamentos periódicos para as equipas de manutenção e montagem dos pinhões e caixas de engrenagem, visando tanto preparar os novos funcionários, como reciclar os funcionários mais antigos;
- ✓ Revisão ou criação de um novo procedimento que contemple uma montagem correta, visto que este é um dos principais motivos das falhas;
- ✓ Avaliar a rotatividade da mão de obra e os planos de carreira das equipas de manutenção;

Cabe ressaltar que as medidas de mitigação são destinadas a locomotivas do modelo GE-U20C, por tanto, recomenda-se a empresa que se baseie neste modelo para a elaboração de medidas para as locomotivas de demais modelos que a empresa possui.

Referências Bibliográficas

Ali, A. C. (2020). Introdução à Manutenção Industrial. UEM - Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Mecânica, 12.

Borba, José Luiz. Mecânica de Locomotivas. Pós-graduação em Engenharia Ferroviária. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, IEC -Instituto de Educação Continuada, 2011.

Budynas, N. Shigley's Mechanical Engineering Design. 8th Edition, McGraw-Hill Companies, New York, 2008

Dalmaso, Alanderson Amorim, Análise de dados de vida em motores de tração de corrente contínua das locomotivas na EFVM. 70 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Fundação Novo Milênio, Vila Velha, 2010.

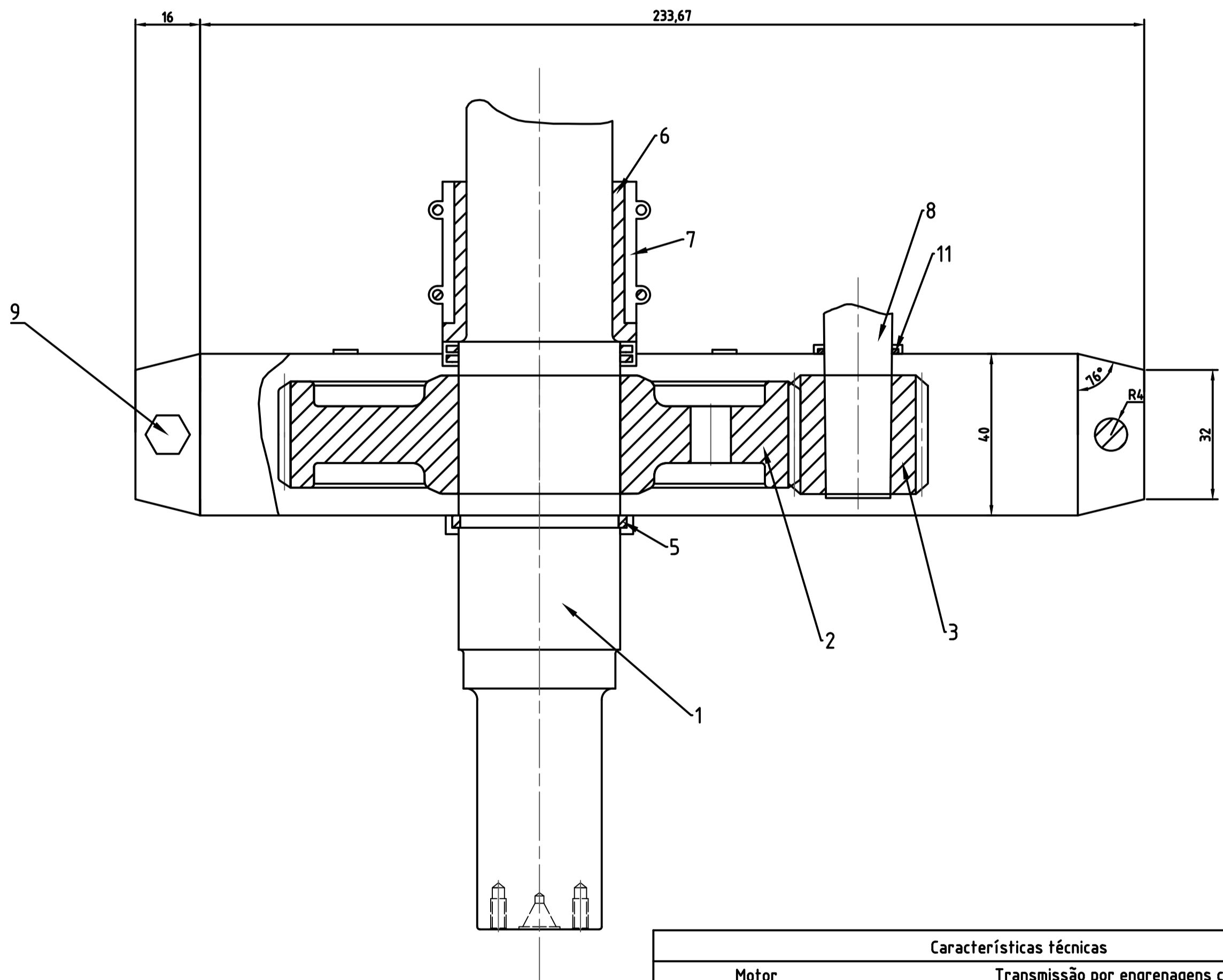
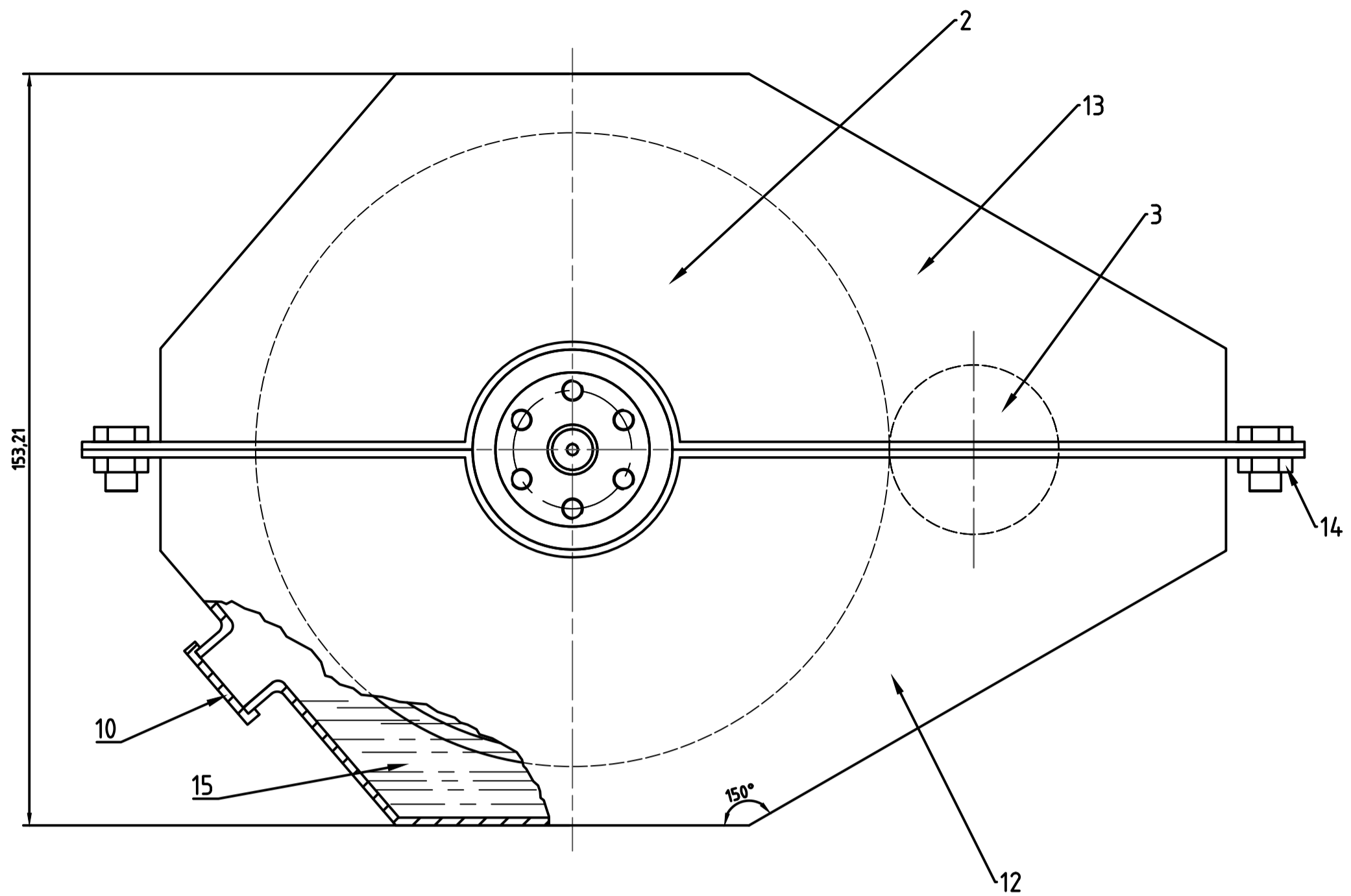
Latsina, L. V., Siteo, R. V. Cálculo das transmissões por engrenagens, , Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 1991;

Manual de Introdução a Locomotiva GE U20C; Departamento de Material Motor- CFM- Direção Executiva sul Serviços de oficinas gerais; Maputo; 2014

Siteo, Rui V. Apontamentos de Órgãos de Máquinas I, Capítulo 16 Apoios deslizantes, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2005.

Siteo, Rui V. Apontamentos de Órgãos de Máquinas I, Capítulo 6 Ligações por Pressão ou Aperto Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2005.

Anexos



| Características técnicas | | | | | | |
|--------------------------|------|---|-------|-------|--------------|----------|
| Motor | | Transmissão por engrenagens cilíndricas | | | | |
| Potência | rpm | $U_{m\dot{a}}$ | Z_1 | Z_2 | módulo m_m | Precisão |
| 1250 | 3100 | 5.17 | 18 | 93 | 5 | 8° |

| | | | | | | | | |
|------------|---------------|---------|-------|------|----------------------|--------|--------------|--------|
| | | | | | DEMA RE 2022 0001 DM | | | |
| Alt. | Folha | N° Doc | Ass. | Data | Redutor | Código | Massa | Escala |
| Executado | Ngulete | Denicio | 14.09 | | | | | 1:5 |
| Verificado | Eng. Matavele | | | | | Folha | N° de folhas | |
| | | | | | FE UEM | | | |

