

**Universidade
Eduardo Mondlane**



**Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica**

**PROPOSTA DE MELHORIA DOS PÉS DO MLLB PARA O TRANSPORTE E
MANUSEIO DO METAL LADLE NA MOZAL**

Discente:

Thongole, Alexandre Simião

Supervisor:

Engº. Roberto David

Maputo, Novembro de 2024



**Universidade
Eduardo Mondlane**



**Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica**

**PROPOSTA DE MELHORIA DOS PÉS DO MLLB PARA O TRANSPORTE E
MANUSEIO DO METAL LADLE NA MOZAL**

Discente:

Thongole, Alexandre Simião

Supervisor:

.....

Engº. Roberto David

Maputo, Novembro de 2024



**Proposta de melhoria dos pés do MLLB para o transporte e manuseio
do Metal Ladle na Mozal - Thongole, Alexandre Simião**

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

AGRADECIMENTOS	6
DEDICATÓRIA	7
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	8
ÍNDICE DE TABELAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	11
RESUMO.....	12
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	13
1.1.Introdução	13
1.2.Problemática	14
1.3.Problema	14
1.4.Objectivo geral.....	14
1.5.Objectivos específicos	14
1.6.Proposições	14
1.7.Perguntas de investigação	15
1.8. Metodologia	15
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1.Conceitos básicos.....	16
2.1.1.Molas.....	16
2.1.2.Contrapino ou cupilha.....	20
2.1.3.Pino cupilhado	21
2.1.4.Suporte do pino cupilhado	21
2.1.5.Estrutura do Metal Ladle Lifting Beam (MLLB)	22
2.1.6.Pés do MLLB.....	23
2.1.7.Metal Ladle (Panela).....	24
2.1.8.Lubrificação	24
2.1.9.Soldadura	26
2.10. Manutenção	28
2.11. Eixos.....	30
CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	31
3.1 Estado actual do objecto de estudo	31

3.1.1 Ciclo de funcionamento de um MLLB	32
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	33
1. Bipartir os pés do MLLB de modo a colocar os elementos que possam garantir a sua flexibilidade:..	33
2. Plano de manutenção para os MLLB`s (Novo sistema).....	38
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
5.1. Apresentação e Análise dos Resultados	40
5.2. Discussão dos Resultados	41
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	42
6.1. Conclusões	42
6.2. Recomendações.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao criador de tudo e de todos, Aquele que me iluminou e com toda fé que tenho digo que abriu todas portas até eu chegar aqui crendo que em oração consigo alcançar a tranquilidade, Deus.

Gostaria de agradecer à Universidade Eduardo Mondlane pela grande oportunidade de poder fazer parte dos estudantes da engenharia em especial engenharia mecânica, desde 2019 que a batalha começou e tem sido uma experiência maravilhosa que palavras não podem descrever.

Expressar a minha apreciação e agradecimento ao meu orientador/supervisor, Eng.º Roberto David pelo apoio, confiança e empenho dedicado à elaboração deste trabalho, agradecer também por incentivar a minha pesquisa e por permitir que eu crescesse como pesquisador científico.

Agradecer imensamente aos meus amigos da faculdade como também de fora, pelo suporte que recebi de todos, eles foram vários momentos que atravessamos e sempre estivemos juntos nos incentivando a crescer academicamente.

Um agradecimento super especial à minha família. Palavras não podem expressar o quanto sou grato à minha mãe, meu pai e meus irmãos por tudo que eles fizeram e fazem por mim. Foram tantos sacrifícios, momentos maus e felizes, mas em nenhum momento deixei de receber o apoio incondicional de todos eles.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado em especial aos meus pais, Simião Jaime Thongole e Amélia Costa Thongole, aos meus irmãos Isac Simião Thongole e Arsénio Simião Thongole, a todos trabalhadores da empresa OUTOTEC e em especial o Eng.º Dino Cossa, que durante o período da minha formação académica no curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica, deram um grande contributo e incentivo.

DECLARAÇÃO DE HONRA

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

Assinatura: _____

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela. 1: Coeficientes de correcções das tensões.....	19
Tabela. 2: Modelo da tabela de registo de manutenção.....	34
Tabela. 3: Exemplo de preenchimento da tabela de registo.....	34
Tabela. 4: Parâmetros fornecidos pela Mozal.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1: Classificação das molas.....	17
Figura. 2: Modelo icónico das molas de compressão.....	17
Figura. 3: Representação dos parâmetros das molas.....	18
Figura. 4: Modelo icónico de uma cupilha.....	21
Figura. 5: Representação de diversos pinos cupilhados.....	21
Figura. 6: Modelo icónico de um suporte de pino cupilhado.....	22
Figura. 7: Modelo icónico de um MLLB.....	22
Figura. 8: Modelo icónico dos pés do MLLB.....	23
Figura. 9: Modelo icónico do metal ladle.....	24
Figura. 10: Modelo icónico dos pés do MLLB empenados.....	26
Figura. 11: Pés do MLLB cortados.....	28
Figura. 12: Representação do pé cortado.....	29
Figura. 13: Representação da chapa superior.....	29
Figura. 14: Representação da chapa inferior.....	30
Figura. 15: Representação da mola com seu guia.....	31
Figura. 16: Representação do pino principal.....	31
Figura. 17: Modelo icónico da aplicação do novo sistema.....	32
Figura. 18: Ilustração dos tipos de manutenção.....	33
Figura. 19: Resultado final.....	36
Figura. 20: Resultado final.....	37

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

- MLLB – Metal Lifting Beam;
- MOZAL – Mozambique Aluminium.

RESUMO

A MOZAL está dividida em vários departamentos e para este trabalho interessa apenas dois deles, que são departamentos da Reduction responsável pela fundição do Alumínio e Cast House que é responsável pelo vazamento do Alumínio líquido em moldes para formarem lingotes. E para isso usa-se uma estrutura denominada Metal Ladle Lifting Beam (MLLB), que se apresentar alguma deficiência em alguma parte da sua constituição pode condicionar o transporte do Metal Ladle que contém o Alumínio líquido, e assim ter impactos negativos no processo produtivo da MOZAL. O estudo foi feito com base nos Metal Ladles Lifting Beam deficientes presentes na oficina da OUTOTEC, usados como amostra para achar solução que elimine ou mitigue ao máximo o problema do empenamento dos pés do MLLB em contacto forte com o *Metal Ladle*. A solução proposta mostrou resultados positivos no MLLB dado pela Mozal para as modificações e testes, e assim cerca de 20 MLLB's existentes na MOZAL vão sofrer modificação para a nova solução.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1.Introdução

A Engenharia Mecânica é uma das engenharias mais solicitadas no mercado devido a sua abrangência no campo dos estudos e sua aplicabilidade em diversas áreas de ciência e tecnologia.

Esta permite o estudo de sistemas que são importantes no quotidiano humano e que facilitam a realização de tarefas necessárias em diversos ambientes, tais como industriais, de processamentos e diversos outros fins. Estes factores concedem à Engenharia Mecânica muita importância e o presente trabalho irá se apoiar nos seus conhecimentos para debruçar sobre o presente tema.

A Mozal é uma empresa cuja função principal é a produção de lingotes de alumínio. E a Mozal é constituída por várias plantas como: Cast House, Reduction, Carbon, Compressor House e Substention. Cada planta desempenhando um papel imprescindível para a obtenção desse alumínio. Estas plantas estão separadas, porém conectados pelas actividades e em constante troca de informações, o Alumínio líquido sai da Reduction para a Cast House por meio de várias estruturas, tendo como as principais, o Metal Ladle Lifting Beam (MLLB) e o metal ladle (panelas, na gíria). Estas estruturas são fundamentais nesses dois departamentos garantindo um transporte e manuseio do Alumínio líquida com segurança, sem impurezas.

E essa estrutura usada para transportar e manusear o metal ladle (panela) da redução onde ocorre a fundição do alumínio até a casthouse onde há vazamento e solidificação do mesmo. E essa estrutura denomina-se MLLB (*Metal Ladle Lifting Beam*), que será o nosso objecto de estudo consoante as necessidades apresentadas pela Mozal a empresa OUTOTEC.

1.2.Problemática

Desde o momento que a MOZAL decidiu usar os MLLB's para o manuseio e o transporte dos metal ladles, a oficina da OUTOTEC têm recebido desde então esses MLLB's porém avariados, o que é bom financeiramente para OUTOTEC mas preocupante para a MOZAL relativamente à influência destes na produtividade.

Essas avarias dos MLLB's são muito frequentes e vão aumentando na medida que a produtividade aumenta, o que faz com que a cada duas semanas a oficina da OUTOTEC receba no mínimo dois MLLB's avariados. Essa frequência de ida dos MLLB's à oficina deve ser reduzida, arranjando soluções que aumentem o seu tempo de uso.

Os pés do MLLB possuem reentrâncias que permitem uma centralização precisa com o *Metal Ladle*. Por sua vez o *Metal Ladle* possui saliências que são usadas na hora de centralização e é onde os Hooks do MLLB engatam para o processo de manuseamento e transporte desse *Metal Ladle*.

1.3.Problema

Empenamento dos pés do MLLB no processo de centralização para manusear e transportar o Metal Ladle devido ao choque forte entre os dois.

1.4.Objectivo geral

- ❖ Melhorar os pés do MLLB para o transporte e manuseio do Metal Ladle na Mozal.

1.5.Objectivos específicos

- ❖ Propor as condições que garantam a flexibilidade dos pés do MLLB.
- ❖ Elaborar um plano de manutenção dos MLLB's.

1.6.Proposições

1. Os MLLB's têm sido mal manuseados pelos operários da MOZAL;
2. Durante a fixação do MLLB no ladle, podem surgir colisões entre os mesmos. E isso pode causar o empenamento dos pés do MLLB por serem totalmente rígidas;
3. O uso de pinos e seus suportes juntamente com as molas, garante que o pé do MLLB seja bipartido e flexível.
4. O uso da proposição 3 evita também o empenamento dos hooks.

1.7.Perguntas de investigação

1. Qual é a causa do empenamento dos pés do MLLB?
2. Que influência tem o empenamento dos pés do MLLB nos Hooks?
3. Quais são as solicitações que se fazem sentir na soldadura do plate entre o pé e a parte superior?
4. Que plano de manutenção seria ideal para assegurar um bom funcionamento da modificação?

1.8. Metodologia

Para a realização deste presente trabalho teve-se como recurso:

1. Pesquisa bibliográfica

Esta pesquisa consistiu na colecta de informação sobre o modo geral de funcionamento da MOZAL, funcionamento dos ladles e o papel dos MLLB's na linha de produção.

Foi também usado manuais e tabelas, consulta ao supervisor, como também trabalhos de licenciatura passados e a internet.

2. Parte prática

A oficina da OUTOTEC possui vários MLLB's por se reparar e estes serviram como amostra para o universo dos MLLB's existentes, e todos com o mesmo problema variando apenas o grau avaria.

Estes serviram para obter o contacto directo com o material, o estudo da estrutura do MLLB's e como este pode ser melhorado.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Conceitos básicos

2.1.1. Molas

Segundo Amauri Oliveira (2017, p.10), as molas são peças com capacidade de armazenar energia potencial ao serem deformadas e restituí-la ao serem descarregadas. Todos os corpos elásticos têm esta propriedade, mas as molas mais usadas são feitas de materiais seleccionados e têm formas especiais que lhes conferem a máxima utilização da capacidade de armazenagem e restituição de energia.

As funções das molas são diversas, podendo ser:

- Armazenar energia (ex: nas cordas dos relógios, brinquedos, nos disjuntores eléctricos, nas armas desportivas, nos mecanismos de válvulas de motores de combustão interna, etc.);
- Amortecer choques (ex: nas suspensões de veículos, nas uniões de veios, em apoios de máquinas);
- Limitações de forças (ex: em dispositivos de segurança tais como válvulas, medidores, prensas, chaves dinamométricas, alicates de pressão, etc.);
- Constituir suspensões oscilantes (ex: em peneiras mecânicas, transportadores por vibrações, compactadores do solo, etc.);
- Preservar o contacto ou junções (ex: em vedantes, articulações, mecanismos de cames e seguidores, contactos eléctricos);
- Distribuir cargas (ex: em colchões, sofás, suspensões de veículos).

Uma das propriedades mais notórias das molas é a sua grande deformabilidade.

Tipos de Molas

Segundo Robert M. Mott (2002), os diversos tipos de molas podem ser classificados quanto à sua forma geométrica ou segundo o modo como resistem aos esforços. Quanto à forma geométrica, as molas podem ser helicoidais (forma de hélice) ou planas.

Quanto aos esforços que suportam, as molas podem ser de tracção, de compressão ou de torção.

CLASSIFICAÇÃO

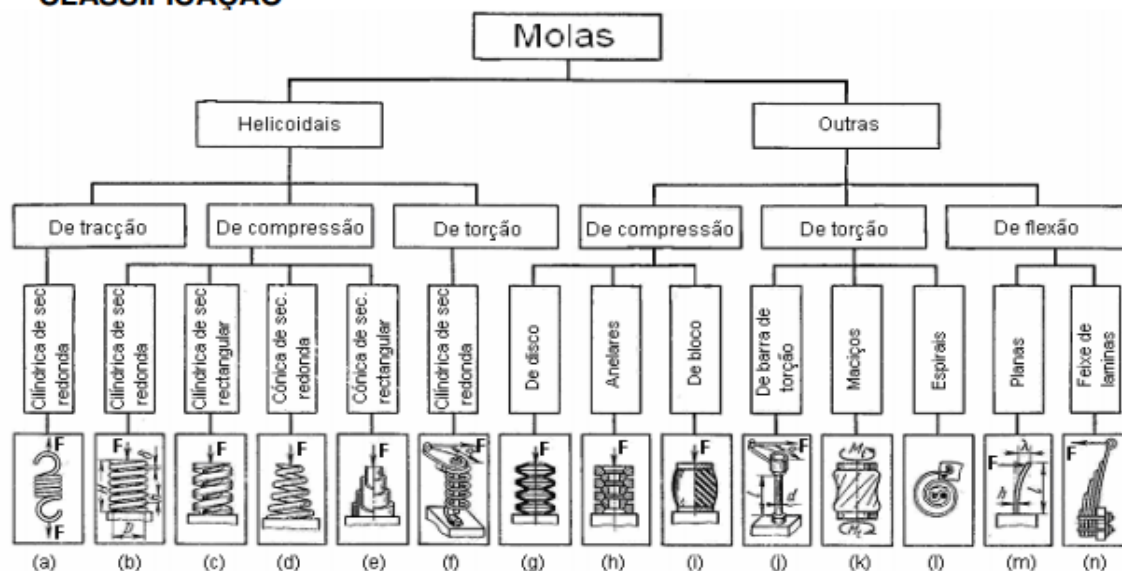


fig. 1 – Classificação das molas

Figura. 1 (Classificação das molas)

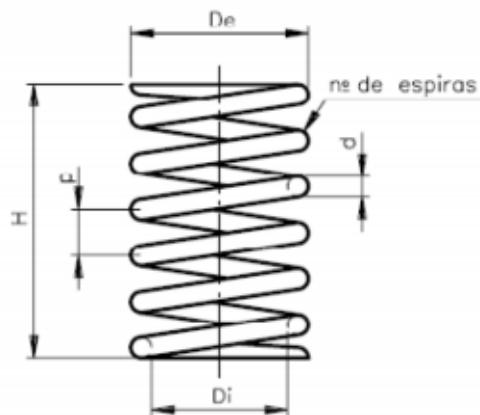
Segundo a classificação acima, pode-se verificar que existem diversos tipos de molas para diversas utilizações. Mas para este trabalho interessa-nos abordar acerca das **Molas de compressão** que fazem parte dos elementos a serem dimensionados para melhor as condições de funcionamento do MLLB “ (Dário A. Borrelli, 2015) ”.

Molas Helicoidais de Compressão

Um dos modelos de molas mais utilizados no mercado em geral, e principalmente no sector da mecânica é a mola helicoidal de compressão, peça que tem como função acumular tensões durante a sua compressão, e ao ser descomprimida, gerar uma reacção com determinada força.



Figura. 2 (Modelo icónico de molas de compressão)



De: diâmetro externo;
 Di: diâmetro interno;
 H: comprimento da mola;
 d: diâmetro da seção do arame;
 p: passo da mola;
 n°: número de espiras da mola.

Figura. 3 (Representação dos parâmetros de molas)

Dimensionamento das molas helicoidais

Segundo R. C. Hibbeler (2008), no dimensionamento de uma mola há, em geral, que atender aos seguintes factores:

- Permitir alojar a mola no espaço disponível;
- Satisfazer os requisitos de rigidez;
- Enquadrar os valores do deslocamento e da força máximos aos valores impostos pelo projecto;
- Satisfazer a condição de resistência, quer em condições estáticas quer em fadiga;
- Verificar que não há riscos de instabilidade no caso de molas comprimidas

- I. Escolhe-se o material e a tensão tangencial admissível: $[\tau] = 800 \dots 1000 \text{ MPa}$. Para cargas cíclicas convém reduzir $[\tau]$ em 2,25... 1,5 Vezes.
- II. Arbitra-se o índice da mola 'c', das recomendações e segundo o espaço disponível. Tipicamente, os maiores diâmetros d têm menor c e para aumentar c é preciso mais espaço.
- III. Calcula-se o coeficiente de correcção das tensões tangenciais (K) pela fórmula ou escolhe-se das recomendações tabeladas.

$$K \approx \frac{4 \cdot c + 2}{4 \cdot c - 3}$$

<i>c</i>	4	5	6	8	10	12
K	1,37	1,29	1,24	1,17	1,14	1,11

Tabela. 1 (Tabela de coeficientes de correcção das tensões)

- IV. Consoante a disponibilidade de espaço, arbitra-se o diâmetro médio da mola, D. Este passo não será necessário se não houver limitação do espaço.
- V. Determina-se o diâmetro do arame pela fórmula abaixo e arredonda-se o resultado.

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{F \cdot c \cdot K}{[\tau]}}$$

- VI. Recalcula-se o índice da mola $c = \frac{D}{d}$ corrige-se o valor do diâmetro do arame usando a fórmula (2), se for necessário.

Após este passo a resistência da mola fica garantida mas ainda falta os parâmetros geométricos.

- VII. Acha-se a altura da mola comprimida até ao mínimo recomendável pela fórmula abaixo.

$$H_{comp} = (1,1 \dots 1,15) \cdot (i + i_{apoio} - 1) \cdot d$$

O número de espiras de apoio deve ser:

$$i_{apoio} = 1,5 \dots 2$$

- VIII. Acha-se o passo das espiras no estado livre por: $t = \frac{\sigma + H_{comp}}{i - 1}$ e arredonda-se para o passo mais próximo que a máquina de enrolar molas pode realizar.

- IX. Acha-se o comprimento do arame da peça bruta por:

$$l_{\Sigma} = \pi \cdot D \cdot (i + i_{apoio})$$

- X. Acha-se o volume ocupado pela mola por:

$$V = \frac{\pi \cdot D_e^2}{4} \cdot H_o \quad \text{Onde} \quad D_e = D + d$$

XI. Determina-se a massa da mola por:

$$m \approx 19,25 \cdot 10^{-5} \cdot D \cdot d^2 \cdot i_{\Sigma}, \text{ em Kg}$$

XII. Calcula-se a rigidez da mola, usando a fórmula abaixo:

$$\frac{F}{\sigma} = \frac{4 \cdot G \cdot I_p}{\pi \cdot D^3 \cdot i}, \quad [N/mm]$$

$$I_p - \text{momento polar de inercia} \quad I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}, [mm^4]$$

Materiais para Molas

Segundo Robert M. Mott (2002), as molas são feitas de materiais com boas propriedades elásticas. Geralmente usam-se aços ao carbono e de liga, aços resistentes à corrosão, ligas não ferrosas tais como bronze fosforoso, ligas de níquel, etc.

Vantagens de uso desta Mola:

As molas helicoidais de compressão proporcionam uma movimentação mais suave, o que por consequência, faz com que as peças e equipamentos não sofram desgastes desnecessários, prolongando a sua vida útil, e gerando uma maior economia para o cliente.

Outros pontos positivos da mola helicoidal de compressão são a sua ótima resistência e alto nível de flexão, trazendo mais segurança para o produto, outra vantagem é a simples aplicação das peças, que ocorre de um modo muito dinâmico.

2.1.2. Contrapino ou cupilha

O contrapino ou cupilha é uma haste ou arame com forma semelhante à de um meio-cilindro, dobrado de modo a fazer uma cabeça circular e tem duas pernas desiguais. Introduz-se o contrapino ou cupilha num furo na extremidade de um pino ou parafuso com porca castelo. As pernas do contrapino são viradas para trás e, assim, impedem a saída do pino ou da porca durante vibrações das peças fixadas “(NIVIA GORDO, 2000, P. 35)”.

Sua função principal é a de travar outros elementos de máquinas como porcas e pinos.



Figura. 4 (*Modelo icónico de uma cupilha*)

2.1.3. Pino cupilhado

Nesse caso, a cupilha não entra no eixo, mas no próprio pino. O pino cupilhado é utilizado como eixo curto para uniões articuladas ou para suportar rodas, polias, cabos, etc. “(NIVIA GORDO, 2000, P. 36)”.

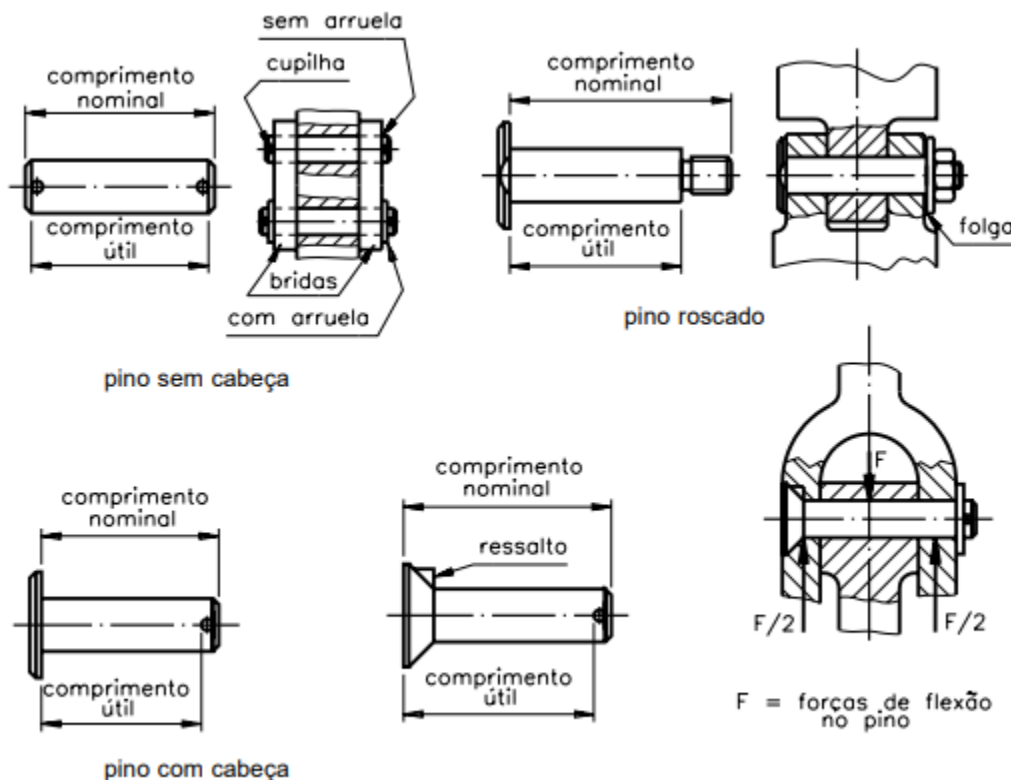


Figura. 5 (*Representação de diversos pinos cupilhados*)

2.1.4. Suporte do pino cupilhado

É um sistema de fixação e de suporte de duas peças que consiste em manter fixo e/ou apoiado o pino cupilhado que é utilizado como eixo curto para uniões articuladas com suporte de mola (Spring Holder). “(NIVIA GORDO, 2000, P. 32)”.

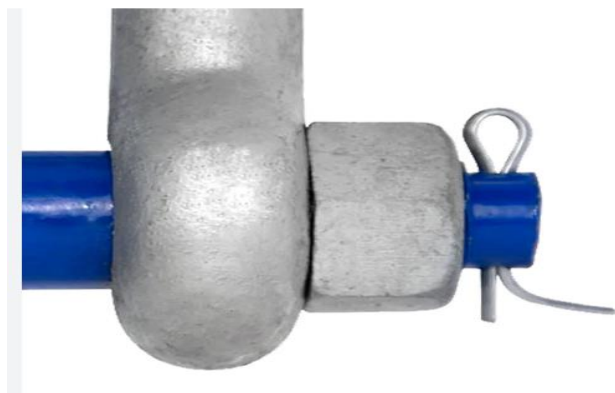


Figura. 6 (*Modelo icónico de um suporte do pino cupilhado*)

2.1.5.Estrutura do Metal Ladle Lifting Beam (MLLB)

É uma estrutura metálica que serve como uma viga de elevação para uma panela metálica que contém o metal líquido no seu interior. Essa estrutura funciona com base nos mecanismos mecânicos, pneumáticos e hidráulicos (CHIRINDZA, MOZAL, 2023).



Figura. 7 (*Modelo icónico de um MLLB “Mozal”*)

Destacar também que essa estrutura deve ser rígida o suficiente para permitir o transporte seguro do ladle com o metal líquido, assegurando assim uma boa estabilidade diante de vários ciclos de carregamento.

Essa estrutura é dividida em três partes: a parte horizontal que leva dispositivos pneumáticos, a parte da caixa que leva cilindros hidráulicos, e a parte dos pés que é o objectivo de estudo.

2.1.6. Pés do MLLB

Essa é a parte dos pés do MLLB que constitui o nosso objectivo de estudo. Essa parte do MLLB possui reentrâncias que permitem uma centralização precisa com o *Metal Ladle*. E também possui uns furos onde são fixados os pinos que encaixam os hooks (CHIRINDZA, MOZAL, 2023).



Figura. 8 (Modelo icónico dos pés do MLLB “Mozal”)

2.1.7.Metal Ladle (Panela)

Metal Ladle possui saliências que são usadas na hora de centralização e é onde os Hooks do MLLB engatam para o processo de manuseamento e transporte desse *Metal Ladle* (CHIRINDZA, MOZAL, 2023).



Figura. 9 (*Modelo icónico do Metal Ladle “Mozal”*)

2.1.8.Lubrificação

Segundo Duarte Júnior (2005, p.14) lubrificação é o processo ou técnica utilizada na aplicação de uma camada chamada lubrificante com a finalidade de reduzir o atrito e o desgaste entre duas superfícies sólidas em movimento relativo separando-as parcialmente ou completamente. Além de separar as superfícies, a camada também tem a função de retirar do sistema o calor e detritos gerados na interacção das superfícies.

Tipos de Lubrificantes

Segundo Henry Ford (1923), os lubrificantes podem ser **líquidos** (óleos), **pastosos** (graxas) ou **sólidos** (grafita, parafina).

Os lubrificantes podem ser de origem orgânica (animal ou vegetal) e de origem mineral (produtos extraídos de petróleo).

A lubrificação é importante porque:

- Protege os componentes e aumenta a vida útil dos equipamentos e máquinas;
- Pode ajudar a reduzir ruídos;
- Previne o aumento da temperatura;
- Minimiza vibrações;
- Previne a oxidação ou a corrosão precoces;
- Evita quebras prematuras;
- Regula a troca de calor entre componentes.

Lubrificantes Líquidos

Os lubrificantes líquidos são compostos por óleo básico e aditivo. Ideais para aplicações que demandam alta velocidade e alta carga. Apresentam baixa viscosidade e, como resultado, baixa perda por atrito.

Além disso, usar lubrificantes líquidos, também produz baixa elevação de temperatura nos componentes do sistema de transmissão.

Lubrificantes Pastosos ou Graxas

A graxa é um tipo de fluido pseudoplástico, composta por óleo básico, aditivos e espessantes. Os espessantes são particulados sólidos, dispersos finamente na graxa. Tem a função de aumentar a viscosidade dos óleos. É um dos componentes mais versáteis na lubrificação industrial.

Aplicável em ampla faixa de temperaturas, velocidades e cargas. Também é mais resistente à ambientes com contaminantes.

Lubrificantes sólidos

O lubrificante sólido é inserido entre as superfícies das peças que trabalham em atrito. Tem a capacidade de se deformar sob cisalhamento com mais facilidade que as superfícies.

Lubrificantes sólidos são usados em condições extremas. A durabilidade é incrementada pela adição de elementos aglomerantes que provêm um filme mais espesso e resistente.

2.1.9.Soldadura

É um processo de ligação química (interatômica), permanente de pelo menos dois materiais, por meio de calor ou pressão ou, ainda por meio de acção combinada daqueles dois “(DR.MULIMA, INTRODUÇÃO A SOLDADURA)”.

Vantagens:

- Economia de tempo na fabricação;
- Juntas de integridade e eficiência elevada;
- Juntas não apresentam problemas de aperto;
- Reduz o peso da estrutura.

Tipos de soldadura

Existem diversos tipos de soldadura, sendo os mais comuns:

- Soldadura por arco eléctrico;
- Soldadura a gás;
- Soldadura MIG (Metal Inert Gas);
- Soldadura TIG Tungsten Inert Gas).

Soldadura MIG (Metal Inert Gas)

Segundo Fortes, Cléber (2005) trata-se de um processo de soldagem por arco eléctrico entre a peça e o consumível em forma de arame, eléctrodo não revestido, fornecido por um alimentador contínuo, realizando uma união de materiais metálicos pelo aquecimento e fusão.

O arco eléctrico funde de forma contínua o arame à medida que é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera por um fluxo de gás, ou mistura de gases, inerte (MIG) ou activo (MAG).

Neste processo de soldagem é utilizada a corrente contínua (CC) e geralmente o arame é utilizado no pólo positivo (polaridade reversa). A polaridade inversa é raramente utilizada, pois, embora proporcione uma maior taxa de fusão do eléctrodo, proporciona um arco muito instável. A faixa de corrente mais comumente empregada varia de 50A até cerca de 600A, com tensões de soldagem de 15V até 32V. Um arco eléctrico autocorrigido e estável são obtidos com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante.

Vantagens:

O processo MIG/MAG (GMAW) apresenta várias vantagens em relação a outros processos de soldagem por arco eléctrico em baixa ou alta produtividade como SMAW (Eléctrodos Revestido), Soldagem por arco submerso (SAS/SAW) e TIG, abaixo uma lista com algumas vantagens:

- Não há perdas de pontas como no eléctrodo revestido;
- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eléctrodo revestido;
- Baixo custo de produção;
- Soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Processo pode ser automatizado;
- Cordão de solda com bom acabamento;
- Soldas de excelente qualidade;
- Facilidade de operação;
- Baixo custo do arame consumível para uso em aço e materiais ferrosos.
- Proporciona um trabalho mais relaxado.

Desvantagens:

- Regulagem do processo bastante complexa;
- Não aplicável a zonas de difícil alcance;
- Não deve ser utilizado em presença de corrente de ar;
- Probabilidade elevada de gerar porosidade no cordão de solda;
- Produção de respingos;
- Manutenção mais trabalhosa;
- Alto custo do equipamento em relação a Soldagem com Eléctrodos Revestido;
- Alto custo do arame consumível para uso em alumínio e aço inoxidável.

2.10. Manutenção

Segundo Alexandre Charifo (*aulas de manutenção, FEUEM*), a manutenção é um processo rotineiro e recorrente de manter uma determinada máquina ou um determinado bem nas suas condições normais de operação de modos que possa dar o seu nível esperado de desempenho ou de serviço sem causar qualquer perda de tempo causada por uma danificação accidental, falha ou avaria. Em outras palavras, Manutenção significa o trabalho necessário para manter o equipamento industrial de modos que possa ser utilizado na sua capacidade total e eficiência durante o máximo tempo possível.

Objectivo da manutenção

O principal papel da função Manutenção numa empresa é a maximização da disponibilidade das máquinas ou equipamentos industriais com vista ao alcance dos objectivos finais da organização. Um outro papel fundamental da Manutenção é o estabelecimento de condições de trabalho seguras tanto para os operadores como, e sobretudo, para a maquinaria e o equipamento industriais.

Hoje em dia, a importância da função Manutenção nas organizações industriais tem crescido consideravelmente. Por isso, os objectivos da Manutenção devem ser formulados dentro dos limites da estrutura de toda organização de formas que os objectivos da organização sejam alcançados. Os planos de Manutenção devem ser elaborados de formas a proporcionar normas de procedimentos para a realização das acções de Manutenção. Para tal, os gestores da Manutenção devem assegurar que:

- a) A maquinaria e os equipamentos estejam sempre em óptimas condições de operação;
- b) O tempo programado para entrega dos produtos aos clientes não seja afectado por causa da indisponibilidade da maquinaria ou equipamentos;
- c) O nível de desempenho da maquinaria e equipamentos seja seguro e fiável;
- d) O tempo de paragem em virtude de avarias da maquinaria ou dos equipamentos seja mantido mínimo possível;
- e) Os custos da Manutenção sejam propriamente monitorados para controlar os custos indirectos das organizações;
- f) O tempo útil do equipamento seja prolongado enquanto se mantém um nível aceitável de precisão no trabalho para se evitar substituições desnecessárias.

A Manutenção divide-se em dois grupos: a planificada e a não planificada. O gráfico abaixo demonstra a sua divisão e os seus respectivos tipos de manutenção.

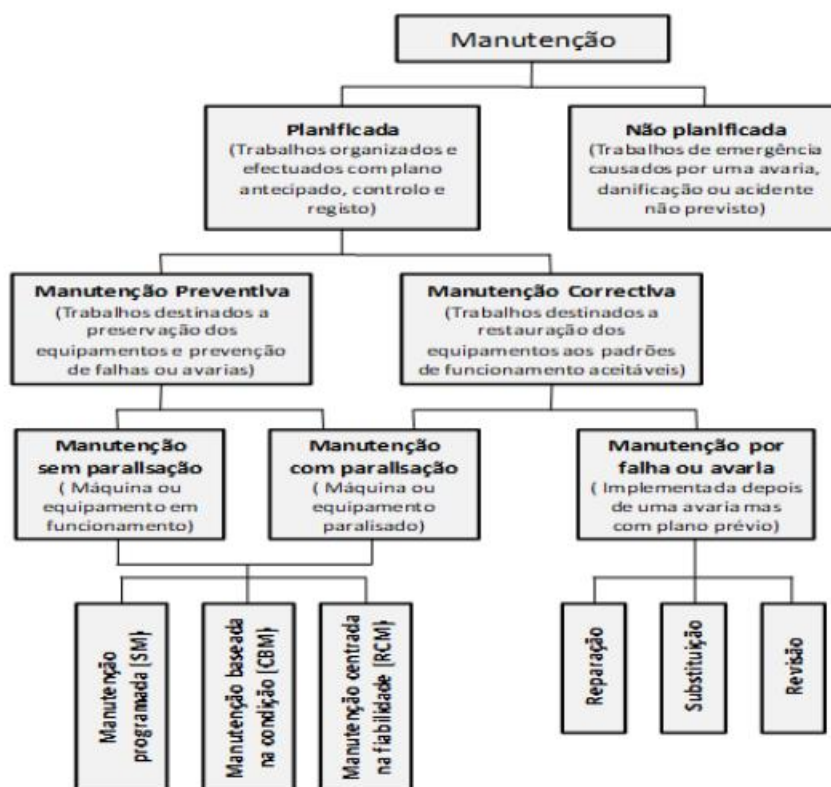


Figura. 17 (Ilustração dos tipos de manutenção)

Depois de analisar as vantagens e desvantagens de cada tipo de Manutenção em relação ao processo produtivo, chegou-se a conclusão que a mais adequada é a Manutenção Programada, pois se conhece a vida útil do MLLB, que é de 4 meses, o equivalente a 1800 voltas, valor calculado acima.

A utilização da Manutenção Programada tem a vantagem de prolongar a vida útil de um componente ou sistema da máquina ou do equipamento, reduzindo paragens devido as avarias. Como se sabe, na prática, os acontecimentos muito poucas vezes funcionam como na teoria, e neste caso, apesar de se ter decidido que a Manutenção será do grupo planificada e do tipo programada, pode ocorrer algo inesperado, uma avaria ou dano que impossibilita o uso do MLLB, sendo assim, nestas situações extremas, pode se recorrer a Manutenção não Planificada devido à avaria.

2.11. Eixos

Em geral, os eixos e veios são membros giratórios, normalmente com secção transversal circular, que suportam vários tipos de elementos de máquinas tais como rodas dentadas, polias, tambores, rodas estreladas, cames, volantes e outros. Existem também eixos e veios com secções não circulares e alguns dos elementos podem não ser giratórios.

Os veios transmitem momentos de torção de uma peça à outra, ao passo que os eixos não transmitem momentos de torção. Esta é a diferença fundamental entre veios e eixos.

Embora o uso de eixos giratórios seja comum (fig. 15.2-a)), também existem muitos eixos não giratórios (fig. 15.2-b)). O eixo (semi-eixo) dos automóveis não é um verdadeiro semi-eixo pois transmite momento torsor às rodas. Esta aberração do termo provém dos tempos em que se usavam carroças puxadas por cavalos, nas quais só se usam eixos. Os veios são sempre giratórios e podem ser rectos, acotovelados ou flexíveis. Muitos dos veios são rectos. Os veios acotovelados são muito usados em máquinas de êmbolos. Os veios flexíveis são utilizados quando se requer flexão, para transmitir movimento num trajecto curvilíneo ou para transmitir movimento a órgãos cuja posição ou orientação varia. Por exemplo, os medidores de velocidade dos automóveis ligeiros possuem um veio flexível que parte da caixa de velocidades até ao velocímetro

Geralmente, os veios rectos são escalonados. Isto facilita o posicionamento dos órgãos montados sobre os veios (rodas dentadas, apoios, polias, etc.). Os escalões também servem para garantir o esforço inicial (pré-esforço) necessário para rolamentos e servem de reacção às forças axiais de certos órgãos. Por exemplo, as forças axiais geradas em engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais, engrenagens cónicas ou parafusos sem-fim, é convenientemente transmitida por um escalão aos apoios.

Em geral, os veios fabricam-se de aços ao carbono e aços de liga. Para veios sem tratamento térmico pode-se utilizar o aço Ct 5 ou equivalente. Para veios submetidos ao melhoramento podem ser empregues aços das marcas 45 ou 40X, dada a sua temperabilidade. Os aços das marcas 20 e 20X são utilizados para veios de alta velocidade em mancais deslizantes.

“(Rui Vasco Siteo – 2001-2004. FEUEM)”.

CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

3.1 Estado actual do objecto de estudo

O uso dos MLLB's na Mozal é imprescindível pois garante um transporte e manuseio do Alumínio líquido com segurança e sem impurezas de uma planta para outra, isso significa que o produto acabado depende directamente deste mecanismo de elevação e transporte.

O estudo dos MLLB's foi mais documental do que experimental. Assim sendo, se o MLLB apresentar alguma deficiência em alguma parte da sua constituição, condiciona directamente o transporte do *Metal Ladle* que contém o Alumínio líquido, e assim surgem impactos negativos no processo produtivo da MOZAL.

E durante o processo de produção, tem se verificado nas plantas uma elevada tendência de avarias dos MLLB's. Onde em sua maioria apresentam o mesmo problema, que é o empenamento dos pés durante as suas operações. E este problema é causado pelo choque forte entre os pés do MLLB com o *metal ladle* isso durante o processo de centralização e elevação de *metal ladle* contendo o metal líquido.



Figura. 10 (*Modelo icónico dos pés do MLLB empenados*)

Essas avarias dos MLLB's são muito frequentes e vão aumentando na medida que a produtividade aumenta, o que faz com que a cada três semanas a oficina da OUTOTEC receba no mínimo dois MLLB's avariados. Essa frequência de ida e volta dos MLLB's à oficina deve ser reduzida, arranjando soluções que aumentem o seu tempo de uso.

3.1.1 Ciclo de funcionamento de um MLLB

O MLLB, tal como a maioria das estruturas metálicas, tem o seu determinado tempo de uso nas condições aptas para a realização do trabalho de forma segura e eficiente, o chamado ciclo de funcionamento, após o qual é necessário verificar a integridade do mesmo.

De acordo com as informações adquiridas pelos trabalhadores da MOZAL, um MLLB tem que dar 1800 voltas no total, 15 voltas por dia (uma volta é equivalente a sair da Cast House vazio para a Reduction e voltar à Cast House preenchido de alumínio líquido) para ser necessária a verificação pela parte da equipa de manutenção.

Cálculo do tempo necessário para a manutenção:

Assumindo que a fábrica esteja a produzir de forma sustentável e sem crises, garantindo assim as 12 voltas por dia:

$$\textit{Periodo de manutencao} = \frac{\textit{Numero total de voltas}}{\textit{Numero de voltas por dia}} = \frac{1800}{15}$$

$$\textit{Periodo de manutencao} = \frac{1800}{15} = 4 \textit{ meses}$$

O valor obtido acima, representa o tempo estimado para o MLLB ir a manutenção.

O tempo que o MLLB fica na oficina varia de uma a duas semanas, no máximo, dependendo do grau de empenamento.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo encontram-se apresentados os métodos usados para a resolução do problema de empenamento dos pés do MLLB, esta resolução consistirá na apresentação de condições de melhoria que possam minimizar o problema, garantindo deste modo maior tempo de operação da estrutura.

Assim sendo, para a resolução do problema devemos:

- Bipartir os pés do MLLB de modo a colocar os elementos que possam garantir a sua flexibilidade;
- Elaborar um plano de manutenção para o novo sistema aplicado.

1. Bipartir os pés do MLLB de modo a colocar os elementos que possam garantir a sua flexibilidade:

Uma das grandes causas do empenamento dos pés do MLLB é por ser inteiro e totalmente rígido, sem possibilidade de flexibilidade dos mesmos pés após uma determinada tensão sujeita.

1.1. Corte dos pés do MLLB de modo a separar

Para eliminar essa rigidez e criar condições para existir a flexibilidade, vamos cortar os pés do MLLB ao meio. Essa separação vai nos dar duas partes dos pés, onde a união entre os mesmos será por meio do novo sistema que vai proporcionar a flexibilidade. E o corte será feito com ajuda de um maçarico devido a elevada espessura da chapa usada.



Figura.10 (*Pés do MLLB cortados*)

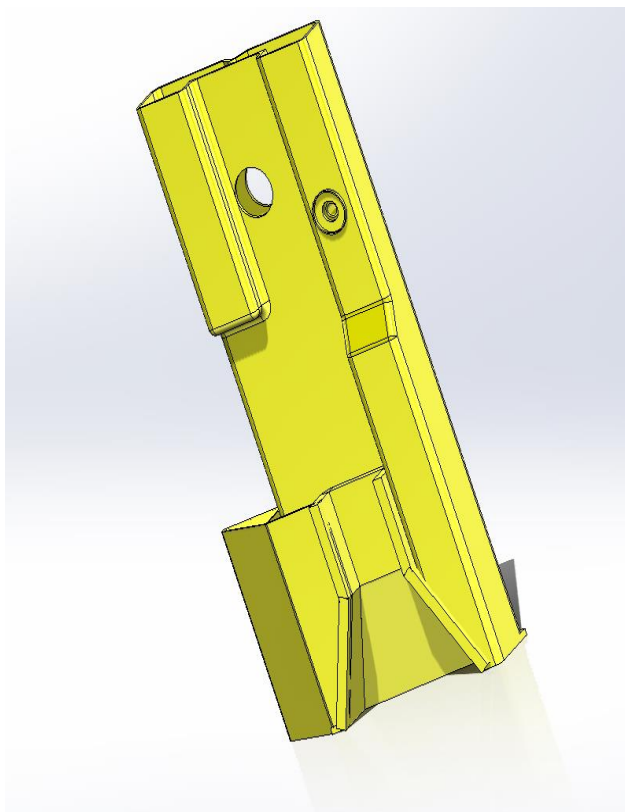


Figura. 11 *(Representação do pé cortado)*

1.2. Soldadura de chapas nas partes cortadas dos pés do MLLB

Essa fase consiste em posicionar chapas e unir por soldadura (MIG MAG) chapas já cortadas para fixar novo sistema. Serão duas chapas, uma superior e outra inferior (Chapas de 20mm de espessura).

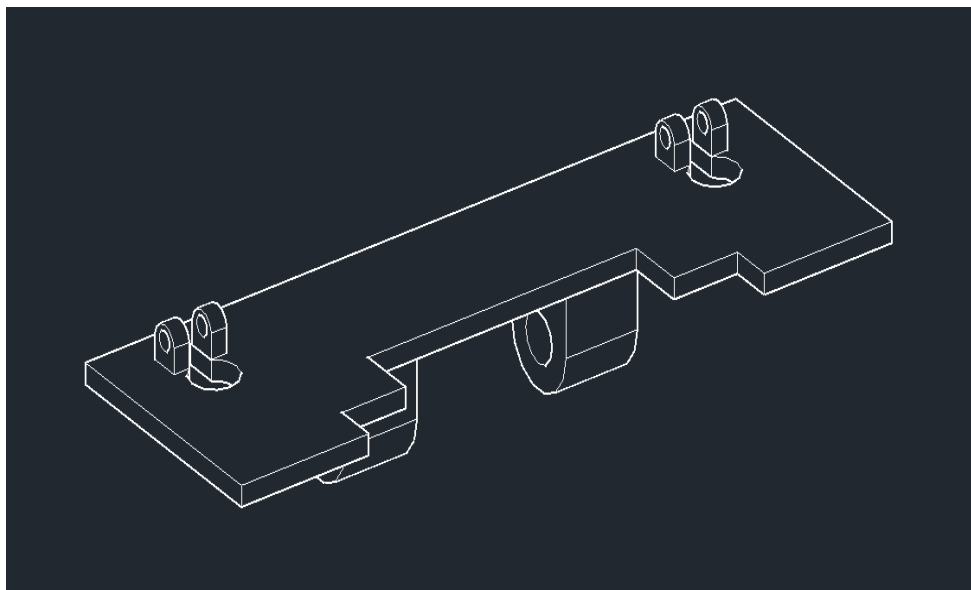


Figura. 12 *(Representação da chapa superior)*

A chapa superior já vem com os seguintes elementos abaixo já soldados:

- Top Spring Holder (Suporte para o contra pino);
- Top Support Pin (Suporte do pino/eixo principal).

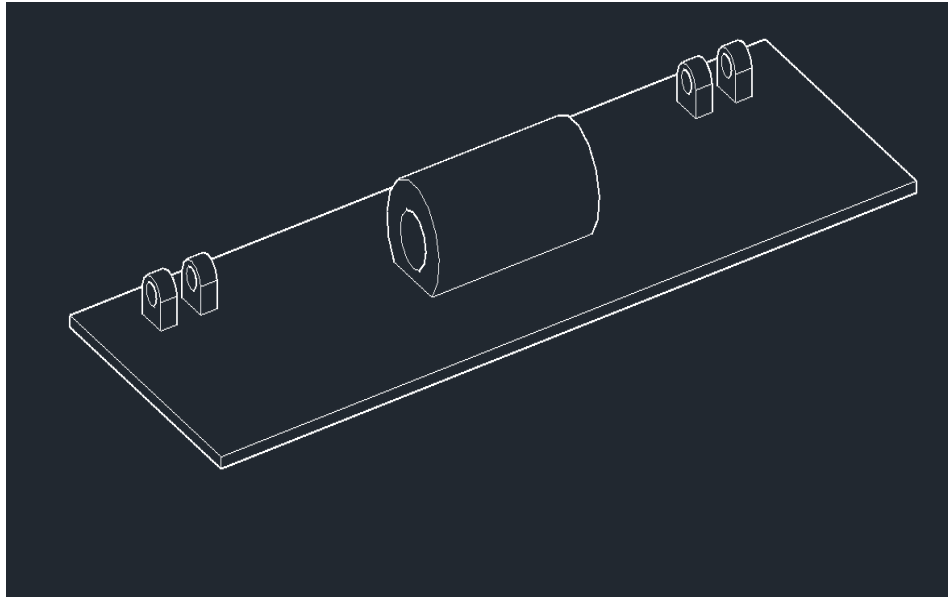


Figura. 13 (*Representação da chapa inferior*)

A chapa superior já vem com os seguintes elementos abaixo já soldados:

- Bottom Spring Holder (Suporte para o contra pino);
- Bottom Support Pin (Suporte do pino/eixo principal).

1.3. Montagem de Molas com seus guias

As molas desempenham um papel fundamental para o funcionamento deste novo sistema, pois devem garantir que após o choque entre os pés do MLLB e o *metal ladle*, a parte inferior dos pés do MLLB voltem a posição inicial. Para começar com o processo de centralização até a elevação. Essas molas terão guias que serão fixados nos Spring Holders (Superiores e inferiores) e também esses guias garantem com que as molas não percam direção durante a sua compressão.

São usadas as molas helicoidais de compressão.

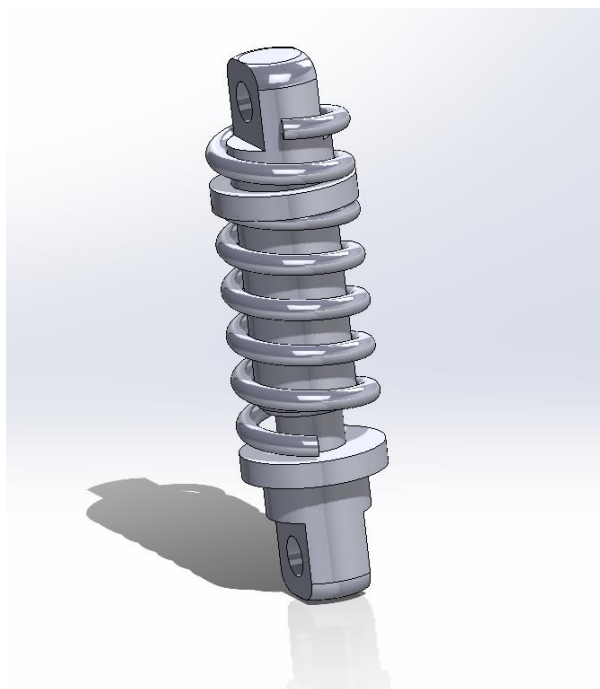


Figura. 14 *(Representação da mola com seu guia)*

1.4. Pino Principal ou eixo

Este elemento também desempenha um papel fundamental para o funcionamento do novo sistema, pois este suporta e garante a flexibilidade dos pés do MLLB. Isso significa que o pino/eixo garanta que no novo sistema após o choque haja possibilidade dos pés girarem cedendo assim o choque evitando empenar.

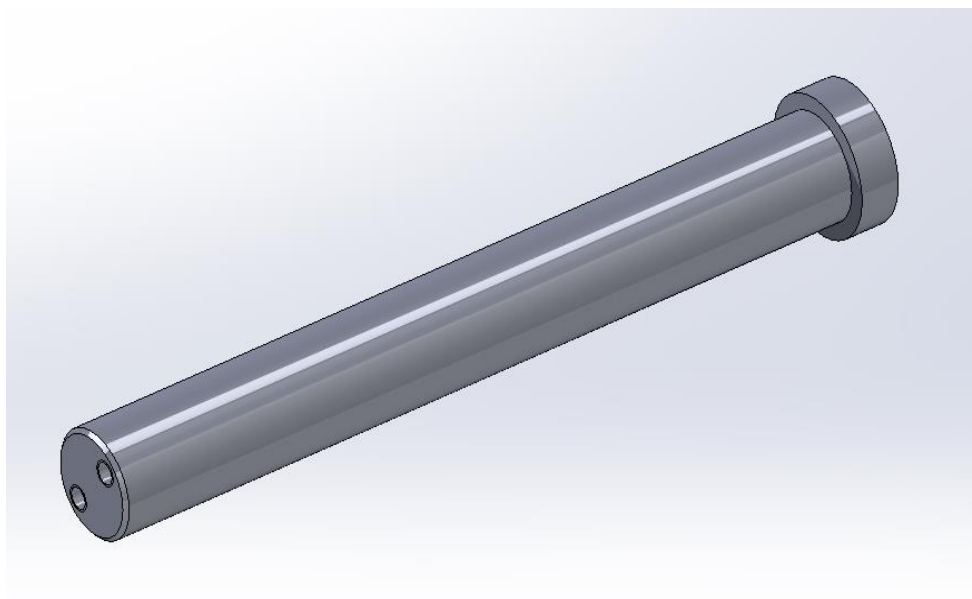


Figura. 15 *(Representação do Pino principal)*

Destacar também que são soldadas dois suportes onde será apertado a tampa para cobrir o novo sistema, e também haverá um batente feito por uma chapa de 12mm de espessura que terá a função de um limitador quando os pés do MLLB voltarem a sua posição inicial.

1.5. Teste de Soldadura (NDT)

Por recomendações da Mozal depois de soldar todos elementos que constituem o novo sistema, deve-se fazer um teste de soldadura que é o NDT (Non Destructive Test). E neste caso faz-se o teste de líquidos penetrantes.

Onde aplica-se um líquido penetrante e um revelador para identificar as descontinuidades. Depois deve-se fornecer o certificado do teste a Mozal.

E com tudo isso obtém-se:

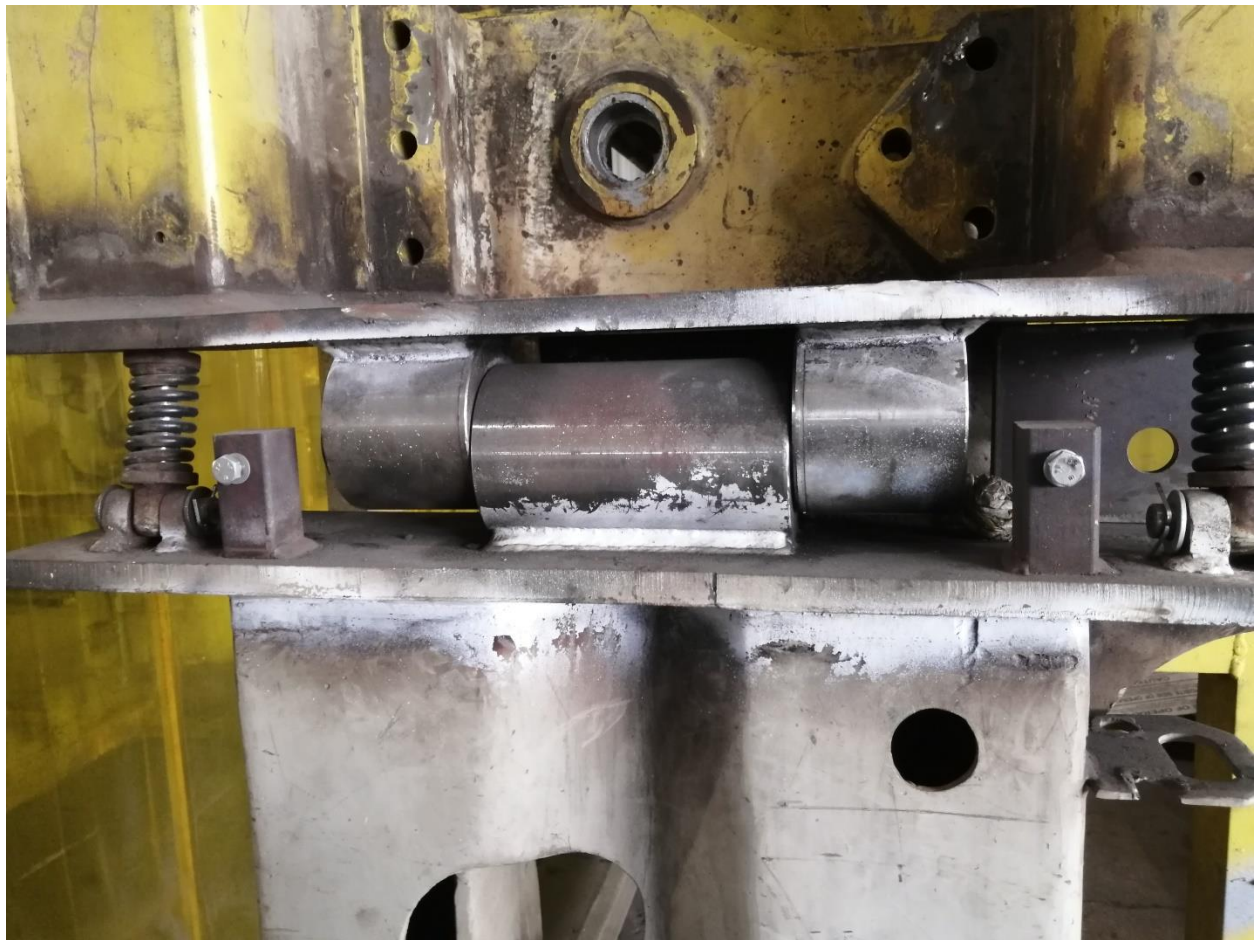


Figura. 16 *(Modelo icónico da aplicação do novo sistema)*

Todos os elementos do novo sistema já montados.

2.Plano de manutenção para os MLLB`s (Novo sistema)

A Manutenção dos MLLB`s é uma componente indispensável para o bom funcionamento da fábrica da MOZAL, é necessário mantê-los sempre disponíveis nas melhores condições possíveis para a execução das actividades produtivas com eficiência.

Para um melhor controlo, os dados de Manutenção dos MLLB`s serão organizados na seguinte tabela que servirá de modelo:

REGISTO DE MANUTENÇÃO DO MLLB							
Nº do MLLB	Descrição do MLLB	Data de verificação	Intervenções realizadas	Pessoa Responsável	Assinatura	Data para a próxima verificação	Observações

Tabela. 2 (Modelo da tabela de registo de manutenção)

Exemplo de uso da tabela de registo de manutenção:

REGISTO DE MANUTENÇÃO DO MLLB							
Nº do MLLB	Descrição do MLLB	Data de verificação	Intervenções realizadas	Pessoa Responsável	Assinatura	Data para a próxima verificação	Observações
10	Trabalho de emergência (Breakdown)	15/10/2023	Substituição da chapa de cima	Eng. Thongole, Alexandre	Assinatura	15/02/2024	Trabalho feito em uma semana, sem dificuldades e usou-se soldadura MIG MAG

Tabela. 3 (*Exemplo de preenchimento da tabela de registo*)

A tabela acima dá uma ideia do preenchimento dos dados de manutenção dos MLLB's, mas é necessário ressaltar que não existe uma forma única de preenchimento, desde que os dados estejam claros o suficiente para qualquer pessoa com conhecimento e credenciada na área possa interpretá-los sem problemas.

Tabela dos parâmetros fornecidos pela Mozal

Após fornecer os desenhos do novo sistema para a melhoria do funcionamento dos pés do MLLB, a Mozal contratou uma empresa Sul-africana que foi responsável pelo dimensionamento de todos os elementos que constituem o novo sistema. Assim a OUTOTEC recebeu os parâmetros por ser a empresa que vai manufacturar esses elementos e ser responsável por qualquer tipo de manutenção necessária.

Components	Dimensions	Material	Comments
<i>Steel Plate</i>	<i>870x290x20 mm</i>	<i>Mild Steel</i>	<i>Color of Painting: Yellow</i>
<i>Springs</i>	<i>$D_e = 40\text{ mm}$ $D_i = 32\text{ mm}$ $H = 76\text{ mm}$ $n^\circ = 8\text{ mm}$ $d = 8\text{ mm}$</i>	<i>Mild Steel</i>	<i>N/A</i>
<i>Pin</i>	<i>$\varnothing = 50\text{ mm}$ $L = 410\text{ mm}$</i>	<i>EN19</i>	<i>N/A</i>
<i>Spring Holder (Steel Plate)</i>	<i>40x35x20 mm</i>	<i>Mild Steel</i>	<i>Color of Painting: Yellow</i>
<i>Welding</i>	<i>N/A</i>	<i>MIG/MAG</i>	<i>All welds to be 6 continous fillet</i>

Tabela. 4 (*Tabela dos parâmetros fornecidos pela Mozal*)

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Apresentação e Análise dos Resultados

Neste presente capítulo, serão apresentados os resultados obtidos por meio da metodologia apresentada no capítulo anterior.



Figura. 18 *(Resultado final obtido 1)*

Com esse novo sistema, os pés do MLLB terão a capacidade de abrir e ceder ao choque sempre que houver esse choque e assim elimina a possibilidade de empenamento durante a centralização.

E para uma aprovação desse novo sistema deve-se realizar um controle de qualidade interna e a nível da Mozal. E um dos requisitos relaciona-se com a certificação da soldadura.

Sendo que a soldadura é uma parte essencial no processo de reparação do MLLB, estes estão sujeitos a um posterior teste para avaliar a qualidade dos cordões de solda e das junções. Uma soldadura mal feita pode inutilizar novamente o metal ladle e ser necessário o seu retorno à oficina.



Figura.19 *(Resultado final obtido 2)*

5.2. Discussão dos Resultados

O novo sistema aplicado para a melhoria do funcionamento dos pés do MLLB é óptimo, visto que, minimiza significativamente o problema de empenamentos dos pés do MLLB durante a operação aumentando assim o tempo de vida útil da estrutura (MLLB). E a sua capacidade de trabalho é confirmada pelo controle de qualidade realizado.

Esse novo sistema apresentado para a resolução do problema vai servir para reduzir o tempo de trabalho de reparação em cada MLLB e assim aumentar a produtividade na Planta.

Realçar também que o MLLB dado para se aplicar o novo sistema foi levado para África do Sul para os testes finais, e essa proposta de melhoria mostrou resultados positivos. E assim cerca de 20 MLLB's existentes na MOZAL vão sofrer modificação para o novo sistema de melhoria.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Tendo terminado o trabalho pode se concluir que os objectivos, geral e específico, foram alcançados, os MLLB's são indispensáveis no processo de produção da MOZAL e estes precisam de estar sempre aptos a realizar a sua função para que o processo de produção não pare.

O novo sistema aplicado melhora o funcionamento dos pés do MLLB garantindo mais durabilidade de uso durante as operações que são o transporte e manuseio do *Metal Ladle* na Mozal. Isso garante com que o pessoal responsável pela produção na planta alcance as suas metas sem muitos problemas de avaria dos pés do MLLB.

6.2. Recomendações

O uso dos planos de manutenção é indispensável para a existência a longo prazo de qualquer empresa de reparação e aconselha-se o uso disciplinado do plano apresentado. Com o passar do tempo e com o aumento de nível de exigência este pode ser expandido para acomodar todos os aspectos técnicos importantes para a realização de um trabalho excelente.

E para a substituição de qualquer elemento do novo sistema deve-se consultar no manual dos parâmetros de produção fornecido pela Mozal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adm, S. L. (s.d.). Technical Description of Ladle Crane. Fonte: Liftsmart: <https://www.liftsmartcrane.com/post/technical-description-of-ladle-crane>
2. Ali, A. C. (2016). *Lições de Manutenção Industrial*. Maputo
3. BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. *Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica*. 10ª ed. São Paulo: AMGH, 2016
4. Duarte Junior, D. (2005). *Tribologia, Lubrificação e Mancais de Deslizamento*
5. Fortes, Cleber (25 de janeiro de 2005). «Soldagem MIG/MAG». Consultado em 14 de junho de 2016
6. Lane, D. (2022). *Foundry Ladle Maintenance and Trouble Shooting*. Fonte: Acetark: <https://acetarc.co.uk/2-foundry-ladle-maintenance-troubleshooting>
7. *Ladle Hooks and Ladle Beams*. (2022). Fonte: TRI-STATE RIGGIN EQUIPMENT: <https://tsriggingequipment.com/ladle-hooks-beams>.
8. Matos, A. (2015). Líquidos Penetrantes. *Controle de Qualidade*, 37.
9. Muniz, C. (2011). *Agradecimentos de TCC*. Fonte: Todamatéria: <https://www.todamateria.com.br/agradecimentos-tcc/>
10. Neve, A. L. (2014). *Estudo da variação dos parâmetros tecnológicos na indústria de produção de alumínio primário*. Maputo.
11. Olívio, Amauri. (Elementos de maquinas) SA. 2017.
12. . Simonsen, R. (2022). *Agradecimentos*. Fonte: TCC Monografias e Artigos: <https://tccmonografiaseartigos.com.br/agradecimentos-abnt-tcc-monografia-trabalho>
13. Williams, E. (2002). *The Mozal Smelter Project*. Fonte: Project Management Institute: <https://www.pmi.org/learning/library/mozal-smelter-projectriver-aluminum-302>.

ANEXOS