



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso de Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio Profissional

Tema:

Projecto de dispositivos para endireitar as placas de base da superestrutura da Mozal

Autor:

MAUAIE, Helder Gustavo

Supervisores:

Eng^o.Roberto David-UEM

Custódio Amisse-DUYS

Maputo, Maio de 2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

Departamento de Engenharia Mecânica

Curso de Engenharia Mecânica

Relatório de Estágio Profissional

Tema:

Projecto de dispositivos para endireitar as placas de base da superestrutura da Mozal

Autor:

(Helder Gustavo Mauaie)

Supervisor pela UEM

Supervisor pela Duys

(Eng.º Roberto David)

(Custódio Amisse)

Maputo, Maio de 2023

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha noiva. Sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis. Agradeço do fundo do meu coração.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por tudo que ele fez e tem feito na minha vida em prol do sonho de me tornar engenheiro mecânico. Vai também um especial obrigado ao supervisor Eng^o Roberto David pela dedicação na orientação do presente trabalho, ao supervisor Custódio Amisse e a direcção da Duys Moçambique que permitiu que pudesse ver e praticar alguns dos conhecimentos adquiridos na sala de aulas.

Agradeço a toda família especialmente aos meus pais Gustavo Carlos Mauiae e Clara Amélia Muimane, minha noiva Deyse Dalsuco e irmãos Nordino Mauaie e Hermínio Mauaie pelo apoio moral e financeiro ao longo desta caminhada e ainda todos que me encorajaram, apoiaram e incentivaram no processo que resultou neste trabalho.

Agradecemos aos colegas do curso pela amizade, solidariedade intelectual e por terem compartilhado seus anseios e conquistas. E por último aos engenheiros, técnicos e operários da Duys Moçambique que muito contribuíram com seus ensinamentos, esclarecimentos e críticas e ainda partilharam suas experiências tornando possível a realização deste trabalho.

Resumo

O presente relatório visa projectar dispositivos para endireitarem as placas de base das superestruturas da Mozal de forma a melhorar a qualidade da manutenção da superestrutura usada no processo de produção de alumínio primário (PPAP) na Mozal a partir da electrólise da alumina.

Superestrutura é um dispositivo industrial usado nos fornos de fundição de alumínio e incorpora os alimentadores de alumina e fluoreto de alumínio, os transportadores de gravidade e os ânodos. Ela tem a função de proteger os trabalhadores isolando termicamente o forno.

A manutenção da superestrutura consiste em várias operações desde a reparação dos ganchos (hooks), mandíbulas de vedação (sealing jaws), ductos de ar (air conveyer), substituição dos cabos eléctricos, tomadas de ar e programação do motor eléctrico, reparação das faces de contacto e macacos mecânicos, endireitamento das placas de base das mandíbulas de vedação, pintura e lubrificação da superestrutura, regulação dos macacos e tomadas de corrente eléctrica e a inspecção da superestrutura.

A operação de endireitamento das placas de base (das mandíbulas de vedação) é uma das operações importantes, pois a placa assenta as mandíbulas de vedação que tem a função de evitar a saída de poeiras contaminadas com os diversos gases resultantes da reacção da electrólise, assentar o isolante eléctrico e servir de guia dos ânodos.

Abstract

This report aims to design devices for straightening the sealing jaw base plate to improve the maintenance quality of the superstructure used in Mozal's primary aluminum production process (PAPP) from alumina electrolysis.

Superstructure is an industrial device used in aluminum smelting furnaces and incorporates alumina and aluminum fluoride feeders, gravity conveyors and anodes. It has the function of protecting workers by thermally insulating the oven.

Maintenance of the superstructure consists of various operations from hook repair, sealing jaws, air conveyor, replacement of power cables, air intakes and electric motor programming, face repair contact and mechanical jacks, sealing jaw base plate straightening, painting and lubricating the superstructure, adjusting the jacks and electrical sockets, and inspecting the superstructure.

The straightening operation of the sealing jaws base plate is one of the important operations, as it rests the sealing jaws that has the function of preventing the emission of dust contaminated with the various gases resulting from the reaction of electrolysis, laying the electrical insulator and guides the anodes.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| Dedicatória | I |
| Agradecimentos..... | II |
| Resumo..... | III |
| Abstract | IV |
| Lista de Símbolos | VII |
| Lista de Figuras | IX |
| Lista de tabelas | IX |
| Capítulo 1 – Introdução..... | 1 |
| 1.1. Objectivos..... | 2 |
| 1.1.1 Objectivo Geral | 2 |
| 1.1.2 Objectivos Específicos | 2 |
| 1.2. Justificativa..... | 2 |
| 1.3. Metodologia..... | 2 |
| Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica | 3 |
| 2.1. Conceito da Superestrutura | 3 |
| 2.1.1. Constituição da superestrutura | 4 |
| 2.1.2. PPAP na Mozal e o princípio de funcionamento da Superestrutura | 5 |
| 2.1.3. Fases da manutenção da superestrutura | 7 |
| 2.2. Chapa de base das mandíbulas de vedação | 8 |
| 2.2.1. Função das Mandíbulas de Vedação | 8 |
| 2.2.2. Função e Causas do Empenamento da chapa de base das mandíbulas de vedação .. | 8 |
| Capítulo 3 – Contextualização | 10 |
| 3.1. Apresentação da Empresa | 10 |
| 3.2. Secção de Engenharia..... | 11 |
| 3.2.1. Área de Engenharia | 11 |
| 3.2.2. Subsecção de Máquinas Ferramentas..... | 11 |
| 3.3. Secção da superestrutura | 12 |
| 3.4. Secção das painéis “potshell” | 12 |
| 3.5. Secção de pintura..... | 13 |
| Capítulo 4 – Metodologia de resolução do problema | 14 |
| 4.1. Apresentação dos dispositivos para endireitar as placas de base das mandíbulas de vedação..... | 14 |
| 4.2. Esquema cinemático..... | 15 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Partes componentes do dispositivo para endireitar a placa de base das mandíbulas de vedação..... | 15 |
| 4.3.1. Caso as placas verguem para cima:..... | 15 |
| 4.4. Projecção do dispositivo endireitador | 16 |
| 4.4.1 Características da chapa de base das mandíbulas de vedação..... | 16 |
| 4.4.2 Determinação da força necessária para a flexão da chapa de base das mandíbulas de vedação | 17 |
| 4.5. Cálculo dos elementos de aperto da chapa..... | 22 |
| 4.5.1. Cálculo do varão roscado..... | 22 |
| 4.5.1.1. Cálculo do diâmetro do núcleo do parafuso | 23 |
| 4.5.1.2 Cálculo testador a flambagem | 24 |
| 4.6. Cálculo da resistência mecânica das roscas..... | 25 |
| 4.7. Escolha do Macaco Hidráulico | 27 |
| 4.8. Caso as placas verguem para baixo:..... | 28 |
| Capítulo 5 – Análise e discussão de resultados..... | 29 |
| Capítulo 6 – Conclusão e Recomendações | 30 |
| 6.1. Conclusão | 30 |
| 6.2. Recomendações..... | 30 |
| Capítulo 7 – Referências bibliográficas | 31 |

Lista de Símbolos

| | |
|--|------------|
| a - Característica dimensional | [mm] |
| A - Área da secção transversal | [mm^2] |
| b - Largura da secção transversal | [mm] |
| c - Característica dimensional | [mm] |
| d - Diâmetro nominal do varão roscado | [mm] |
| d_1 - Diâmetro do núcleo do parafuso | [mm] |
| e - Espessura da chapa | [mm] |
| E - Módulo de elasticidade | [GPa] |
| f - Característica dimensional e depende da espessura da chapa | [mm] |
| F - Força necessária para causar a deflexão V_A | [kN] |
| F_a - Força axial de compressão | [kN] |
| F_{cr} - Força crítica a flambagem | [kN] |
| $F_{r,cat}$ - Força de ruptura calculado | [kN] |
| F_{tr} -Força de tracção da cadeia | [kN] |
| G - Módulo de elasticidade transversal | [GPa] |
| H - Altura da rosca | [mm] |
| I - Momento de inercia da área da secção transversal | [mm^4] |
| K - Coeficiente de comprimento efectivo | |
| K_{irr} - Coeficiente de irregularidade | |
| KL - Comprimento efectivo de flambagem | |
| $[n]$ - Coeficiente de segurança recomendado | |
| V - Deslocamento | [mm] |
| V_A - Deflexão causada pela força F | [mm] |
| $[\sigma]$ - Tensão admissível do material do varão roscado | [MPa] |
| σ_{cr} - Tensão crítica de flambagem | [MPa] |
| σ_e - Tensão de escoamento | [MPa] |

| | |
|--|---------------------|
| σ_r - Tensão de resistência | [MPa] |
| [τ]- Tensão admissível de cisalhamento da rosca | [MPa] |
| ν - Coeficiente de Poisson | |
| γ - Massa específica | [t/m ³] |
| σ - Tensão devido a força F | [MPa] |
| τ - Tensão de cisalhamento | [MPa] |
| φ - Ângulo de inclinação | [rads] |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Vista da Superestrutura..... | 3 |
| Figura 2: Vista auxiliar da superestrutura | 12 |
| Figura 3: Esquema representativo do forno de produção de alumínio..... | 7 |
| Figura 4: Mandíbulas de Vedação “Sealing Jaws” | 8 |
| Figura 5: Mudança de ânodos | 9 |
| Figura 6: Introdução e retirada da pá | 9 |
| Figura 7: Logótipo da empresa..... | 4 |
| Figura 8: Vista da subsecção de máquinas ferramentas..... | 7 |
| Figura 9: Secção de Superestrutura..... | 8 |
| Figura 10: Secção de Pot Shell..... | 9 |
| Figura 11. Secção de pintura | 9 |
| Figura 12: Esquema cinemático dos dispositivos para endireitar as placas de base das mandíbulas de vedação | 15 |
| Figura 13: Características dimensionais da chapa de base das Mandíbulas de Vedação..... | 16 |
| Figura 14: (a)Forma de posicionamento do dispositivo endireitador ; (b) Esquema de cálculo... | 18 |
| Figura 15: Diagramas de carregamento da placa | 22 |
| Figura 16: Tensões de corte e secção perigosa a-b | 25 |
| Figura 17: Dispositivo de aperto da placa..... | 27 |
| Figura 18: Macaco hidráulico eléctrico..... | 27 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Composição química do material da chapa de base das mandíbulas de vedação..... | 16 |
| Tabela 2: Propriedades mecânicas médias do aço C25..... | 17 |
| Tabela 3: Tabela de cálculo" Teorema de Castigliano" | 19 |
| Tabela 4: Reacções de apoio | 21 |
| Tabela 5: Composição química do aço SAE 1045 | 23 |
| Tabela 6: Propriedades mecânicas médias do aço SAE 1045 de grau de resistência 10.9 | 23 |

Capítulo 1 – Introdução

A actividade industrial é a base do desenvolvimento económico mundial desde o século XVIII. As indústrias foram os primeiros estabelecimentos a empregar trabalhadores assalariados em grande número e na actividade são responsáveis pela automação cada vez maior do processo produtivo em substituição a força da mão-de-obra. A actividade industrial é aquela pela qual os seres humanos transformam matéria-prima em algum bem, acabado ou semi-acabado.

O crescimento industrial no país é um dos principais factores indispensáveis para se atingir o nível de desenvolvimento socioeconómico necessário para redução do desemprego e a erradicação da pobreza absoluta. O Governo considera a indústria como um dos factores determinantes nas acções de combate a pobreza e desenvolvimento económico. A indústria continua a ser uma prioridade e factor determinante para a transformação estrutural da economia, para a mudança qualitativa do crescimento do Produto Interno Bruto, e para a elevação da competitividade da economia nacional e sua inserção no mercado mundial.

Essa industrialização é acompanhada pelo surgimento de empresas especializadas na fabricação, construção, reparação e manutenção que garantem a funcionalidade e longevidade de equipamentos.

O presente relatório reflecte o que foi o estágio profissional, que é um exercício fundamental para a formação de um engenheiro com qualidade, devendo ser realizado numa indústria ou empresa na qual seja possível aplicar os conhecimentos adquiridos na instituição de ensino.

O Estágio Profissional realizou-se na empresa Duys Moçambique, que é uma empresa de engenharia e fabricação de estruturas metálicas com o conhecimento e capacidade para fabricação, construção bem como a manutenção e reparação de pequenas e grandes estruturas metálicas.

Este trabalho visa a projecção de dispositivos para endireitar a chapa de base das mandíbulas de vedação da superestrutura usada na Mozal durante o processo de produção de alumínio a partir da electrólise alumina e esta dividida em 5 capítulos.

1.1. Objectivos

1.1.1 Objectivo Geral

- Projectar dispositivos para endireitar de forma eficiente as placas de base das mandíbulas de vedação” sealing jaws”

1.1.2 Objectivos Específicos

- Endireitar as placas de base das mandíbulas de vedação com eficiência e eficácia;
- Garantir a qualidade da superfície para um óptimo isolamento eléctrico da superestrutura e impedir a entrada e saída de materiais estranhos na Pot Shell;
- Reduzir os tempos de trabalho no endireitamento da placa.

1.2. Justificativa

- O endireitamento das chapas de base das mandíbulas de vedação por meio de uma talha manual tem muitas desvantagens, pois, o operador pode ficar fadigado devido ao elevadíssimo tempo de exposição a movimentos repetitivos e a lentidão do processo, porém, com dispositivos mecanizado eliminam-se esses problemas.
- Com um dispositivo muito mais mecanizado e com maior mobilidade que o existente, consegue-se reduzir o tempo de endireitamento das placas de base das mandíbulas de vedação, o que reflecte se grandemente nos ganhos económicos.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho foi baseada na:

- Colecta de informações e conhecimentos técnico-científicos, adquiridos através do intercâmbio entre o Estudante e Técnicos, Operadores dos equipamentos na experiência adquirida ao longo do estágio;
- Sessões de consulta com os supervisores da faculdade, do supervisor do estágio e com alguns trabalhadores da Mozal;
- Pesquisas individuais nos manuais da empresa e a consultas na internet.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1. Conceito da Superestrutura

A **superestrutura** é um equipamento ou dispositivo industrial usado nos fornos de fundição de alumínio, e é geralmente designada como a tampa do forno ou da panela e incorpora os alimentadores (de alumina e fluoreto de alumínio), os transportadores de gravidade e os ânodos.

A superestrutura é projectada com as seguintes finalidades fundamentais:

- Isolar termicamente a panela de modo a que se possa reter o calor dentro da panela;
- Alimentar o pote com transportadores de alumina e triflour e diferentes alimentadores;
- Controlar os gases gerados durante a reacção de electrólise;
- Proteger os trabalhadores.

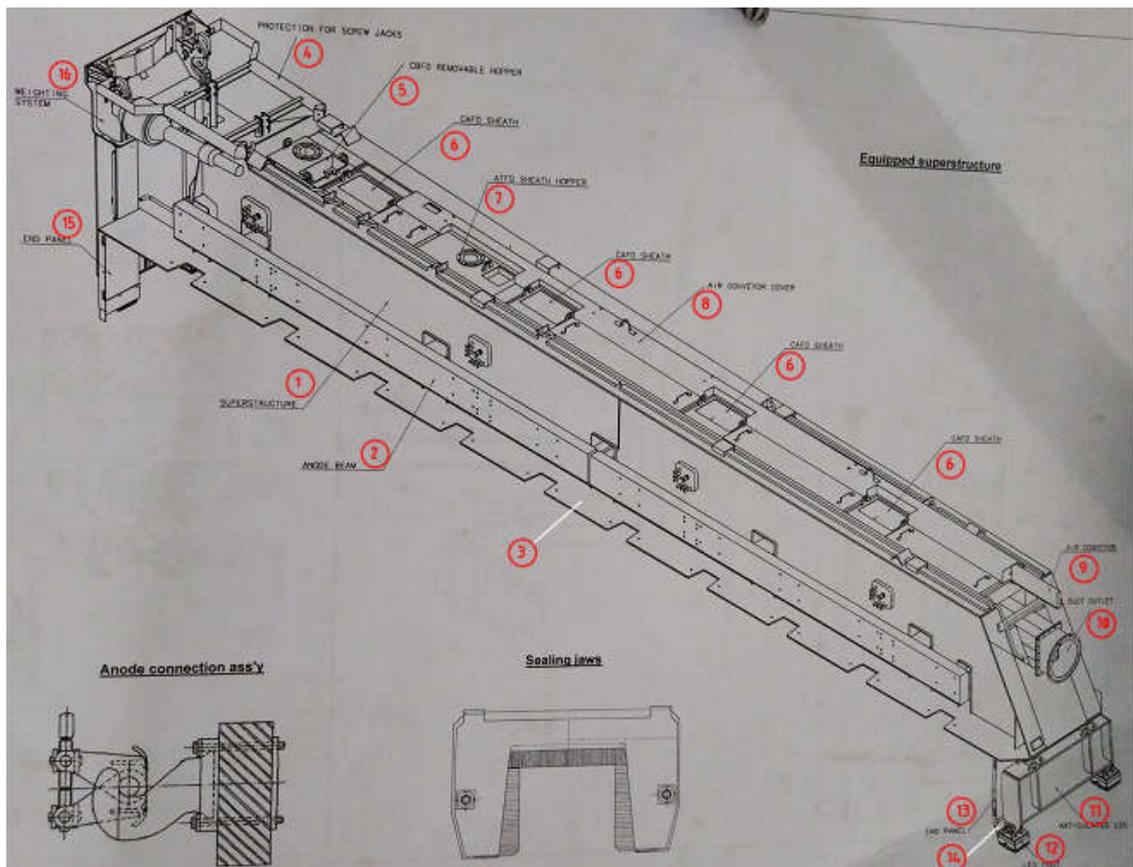


Figura 1: Vista da Superestrutura

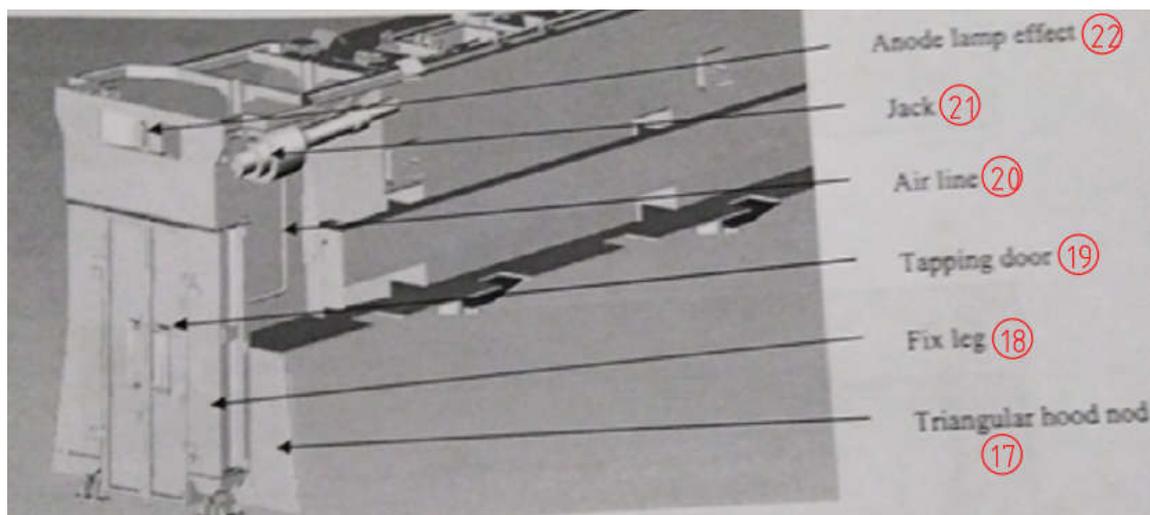


Figura 2: Vista auxiliar da superestrutura

2.1.1. Constituição da superestrutura

Este equipamento industrial é constituído por vários componentes que são mencionados abaixo segundo a enumeração das últimas duas figuras acima.

- | | |
|---|---|
| 1- Superestrutura; | 16- Sistema de levantamento dos ânodos; |
| 2- Viga de ânodos; | 17- Aceno de capuz triangular; |
| 3- Placas de base das mandíbulas de vedação; | 18- Perna fixa; |
| 4- Protecção para macacos mecânicos; | 19- Porta; |
| 5- Funil removível do dispositivo de alimentação do banho esmagado; | 20- Ducto de ar; |
| 6- Bainha do dispositivo de alimentação de alumina e quebra-crosta; | 21- Macacos mecânicos; |
| 7- Tremonha de revestimento do dispositivo alimentador de triflour; | 22- Lâmpada de sinalização |
| 8- Tampa da conduta de ar; | |
| 9- Conduta de ar; | |
| 10- Saída do ducto; | |
| 11- Perna articulada; | |
| 12- Perna do pé; | |
| 13- Paine final; | |
| 14- Selos; | |
| 15- Paine final; | |

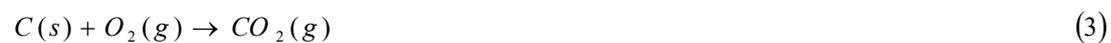
2.1.2. PPAP na Mozal e o princípio de funcionamento da Superestrutura

A produção do alumínio na Mozal consiste na recepção da alumina já processada na Austrália. Esta é encaminhada aos Centros de Tratamento de Gases (GTC's). Os GTC's são responsáveis pelo fornecimento da alumina ao Departamento de redução. Antes de ser fornecida, é usada para tratar os gases ricos em fluoretos exaustos da célula electrolítica.

O tratamento consiste na alimentação de gases em contra corrente num silo contendo alumina fresca denominada de fresh alumina. Entretanto, a alumina adsorve o fluoreto na sua superfície e é denominada de fluorinatedalumina (alumina fluoretada). O objectivo deste processo não só é de tratar gases como também é de recuperar fluor perdido na evaporação do banho. A redução da alumina em alumínio metálico é realizada em células electrolíticas contendo banho electrolítico fundido num intervalo de temperaturas de 950 a 970 0C. Nesse processo a alumina fluoretada é alimentada no banho fundido, misturada com criolite e electrolisada com uma corrente de cerca de 360kA acerca de 4.3 volts de queda de tensão. O alumínio carregado positivamente é reduzido a alumínio metálico no cátodo (eléctrodo negativo), enquanto o oxigénio carregado negativamente é oxidado no ânodo (eléctrodo positivo) conforme as equações das reacções anódicas e catódicas (equações 1 e 2). O alumínio sendo mais denso e imiscível com o electrólito, deposita-se sobre o bloco do cátodo, enquanto o electrólito permanece sobre ele.



A semi-reacção anódica (equação 1) consiste na produção de oxigénio. Por essa razão, os blocos de carbono são consumidos, resultando em grandes emissões de CO₂ segundo a equação 3.



O oxigénio e traços de flúor formados provocam séria corrosão dos ânodos. Por isso, devem ser substituídos periodicamente através de operações de troca de ânodos. Além do CO₂, no ânodo formam-se vários produtos, incluindo CO; CF₄ e C₂F₆ (Eyer et al., 2005).

A semi-reacção catódica (equação 2) consiste na produção de alumínio. A produção de alumínio na célula electrolítica é contínua, e a certos intervalos, o alumínio fundido é removido do fundo da sua cavidade por operações de sucção do metal.

O processo de produção de alumínio utilizado na Mozal é a produção primária exactamente no processo posterior a redução de alumínio em fornos para a obtenção da alumina cristalina. Depois da obtenção da alumina cristalina que segue vários processos desde a britagem, digestão, clarificação, precipitação onde se dá o esfriamento do licor verde.

Após este resfriamento faz-se a adição de uma pequena quantidade de cristais de alumina (semeadura) para estimular a precipitação, em uma operação reversa à digestão, Eq. $NaAl(OH)_4 \rightarrow Al(OH)_3 + NaOH$. A alumina cristalizada é encaminhada para a calcinação na qual é a etapa final do processo, em que a alumina é lavada para remover qualquer resíduo do licor e posteriormente seca.

Em seguida a alumina é calcinada a aproximadamente $1000^\circ C$ para desidratar os cristais, formando cristais de alumina puros, de aspecto arenoso e branco.



A partir desta fase que a Mozal a começar na produção do alumínio na qual a alumina calcinada com aspecto arenoso e branco constitui a matéria-prima. Estes cristais de alumínio são introduzidos em panelas para a sua fusão a temperatura aproximadamente $700^\circ C$ com ajuda do cilindro alimentador de alumina. Uma vez submetido a altas temperaturas este pó vai fundir deixando banho do alumínio puro no seu interior mas em contrapartida este forma uma crosta nas superfícies do mesmo devido a diferença de temperatura. Como sendo um sistema contínuo e automatizado, o processo de injeção da alumina não para, mesmo que o martelo não consiga quebrar a crosta formada.

Na medida que vai se obtendo uma certa quantidade de alumínio puro dentro da panela, este líquido é removido por canal que permita sua saída e o processo de injeção da alumina contínua, o martelo vai exercendo sua função na medida que vai se formando a crosta e de acordo com a necessidade levanta-se ou baixa-se a viga dos ânodos por meio do sistema de levantamento dos ânodos e assim vai continuando o processo de produção, este processo ocorre num ambiente fechado (panela) que não é visível a olho nú.

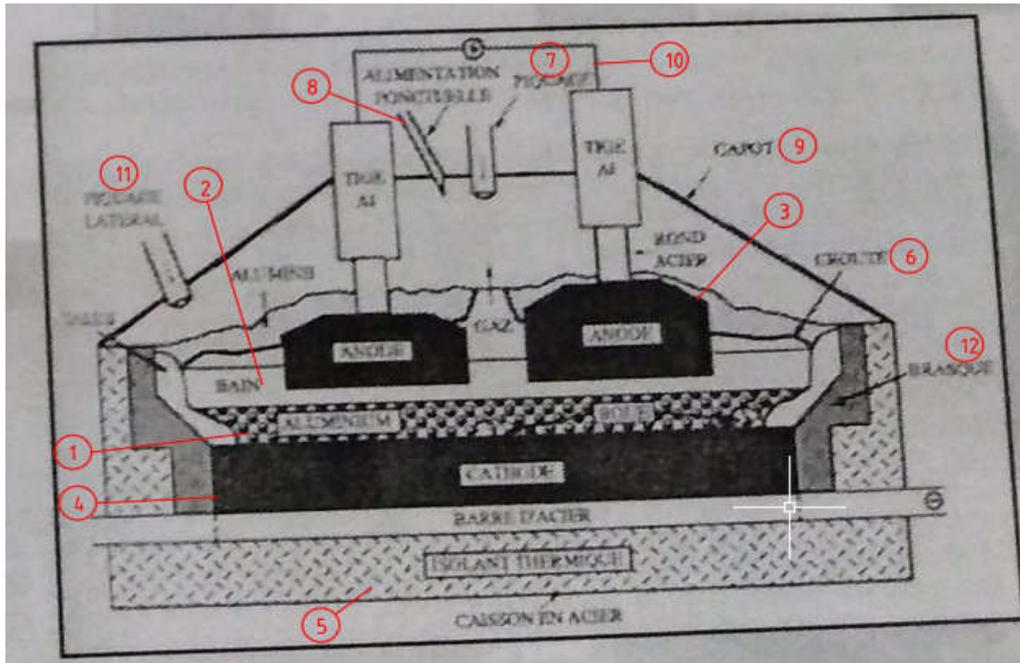


Figura 3: Esquema representativo do forno de produção de alumínio

Legenda:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1- Alumínio líquido; | 7- Martelo; |
| 2- Banho electrolítico fundido; | 8- Calha de administração de alumina; |
| 3- Ânodo; | 9- Capota; |
| 4- Cátodo; | 10- Superestrutura; |
| 5- Isolante térmico; | 11- Tubo de sucção de alumínio líquido; |
| 6- Crosta; | 12- Refractário . |

2.1.3. Fases da manutenção da superestrutura

Após a recepção da superestrutura na empresa e colocação nos apoios da plataforma procede-se com os trabalhos de manutenção que podem ser subdivididos nas seguintes fases embora algumas fases decorrem em paralelo:

- Manutenção dos ganchos “hooks”, das mandíbulas de vedação “Sealing jaws” e transportador de ar “ air conveyor”;
- Manutenção preventiva e correctiva da parte eléctrica e pneumática;
- Manutenção correctiva das faces de contacto com os ânodos;
- Manutenção preventiva dos macacos;

- Endireitamento da chapa de base das mandíbulas de vedação;
- Pintura da superestrutura;
- Lubrificação da superestrutura;
- Regulação dos macacos e tomadas de corrente eléctrica;
- Inspeção da superestrutura e entrega.

2.2. Chapa de base das mandíbulas de vedação

2.2.1. Função das Mandíbulas de Vedação

A mandíbula de vedação é semelhante a uma ferradura horizontal com abertura posterior, cujas extremidades livres saem dois prolongamentos. Ela possui um conjunto de três escovas metálicas montadas numa mandíbula com possibilidade de se mover com ligeira liberdade em relação a protecção externa.



Figura 4: Mandíbulas de Vedação “Sealing Jaws”

As mandíbulas de vedação tem as seguintes funções:

- Evitar a saída das poeiras contaminadas com AlF_3 (fluoreto de alumínio) e outras matérias do Pot Shell;
- Evitar a entrada de qualquer material estranho na Pot Shell.
- Isolar electricamente a superestrutura.

2.2.2. Função e Causas do Empenamento da chapa de base das mandíbulas de vedação

As placas de base das Mandíbulas de Vedação tem a função de assentar as Mandíbulas de Vedação e servir de guia dos ânodos. O empenamento das bordas da chapa de

base das Mandíbulas de Vedação é causado pelo choque dos diversos elementos intervenientes no processo de mudança dos ânodos. As causas são as seguintes:

- Mudança de ânodos (Retirada do desgastado e introdução do novo);



Figura 5: Mudança de ânodos

- Introdução e retirada da pá (shovel), que tem a função de fazer a limpeza da cavidade onde se aloja o ânodo;



Figura 6. Introdução e retirada da pá

- Retirada dos ânodos para a manutenção da superestrutura.

Capítulo 3 – Contextualização

Uma vez que as superestruturas sofrem várias solicitações durante a fundição de alumínio, as placas de base das mandíbulas de vedação chegam empenadas e/ou deformadas na empresa Duys Moçambique sendo assim viu-se a necessidade de se projectar dispositivos para endireitar-se as mesmas, uma vez que o processo usado até então é bastante moroso, exige maior esforço dos trabalhadores o que proporciona fadiga devido ao tempo de operação e o esforço exercido para o efeito.

3.1. Apresentação da Empresa



Figura 7. Logótipo da empresa

Duys Moçambique é uma empresa de engenharia e fabricação de estruturas metálicas com o conhecimento e capacidade para fabricação, construção bem como a manutenção e reparação de grandes estruturas metálicas. Actualmente detida a 100% por duas empresas Moçambicanas vocacionadas para o desenvolvimento industrial, a Duys Moçambique está comprometida com o desenvolvimento industrial a nível local e nacional.

Localiza-se na zona sul do país na Matola Rio, concretamente no Parque industrial de Beluluane. A companhia de origem Sul-Africana “Duys Moçambique” foi convidada pela Mozal há sensivelmente 21 anos quando ainda designava-se por Duys Engineering Group para a prestação de diversos serviços de manutenção.

As suas principais actividades no Parque Industrial de Beluluane são a manutenção de *superestrutura* (tampa da panela que incorpora os alimentadores de alumina, fluoreto de

alumínio e os ânodos), *potshell* (panela onde ocorre o processo de redução da alumina em alumínio) *melting-pan* (cadinho usado durante o transporte do alumínio a Cast-house).

A empresa é composta por duas zonas fabris, dois refeitórios e uma área administrativa. A área fabril é composta pelas seguintes secções principais: secção de engenharia, superestruturas, potshell e de pintura.

A seguir faz-se a apresentação das secções que compõem a empresa e as suas respectivas actividades diárias.

3.2. Secção de Engenharia

Esta é a maior secção da empresa em termos de dimensões construtivas assim como em termos de versatilidade dos trabalhos executados. Esta é dividida em duas subsecções a saber: a área de Engenharia e a de máquinas ferramentas.

3.2.1. Área de Engenharia

Nesta área são executados diversos projectos de engenharia desde os de inovação e os de melhoramento de estruturas metálicas e outros. Também são feitos diversos trabalhos de manutenção de melting-pan (cadinho), LTV (veículo de transporte de cadinho) e diversos dispositivos usados durante as actividades da TCM (Terminal de Carvão da Matola).

3.2.2. Subsecção de Máquinas Ferramentas

Esta é a menor área de trabalho existente na empresa em termos de dimensões e serve principalmente para auxiliar a execução dos trabalhos na área de engenharia e as demais secções de trabalho. Esta é composta por máquinas ferramentas como fresadoras, tornos, furadoras verticais e outras máquinas como calandra e serrote de fita.



Figura 8: Vista da subsecção de máquinas ferramentas

3.3. Secção da superestrutura

Esta é uma das maiores secções em termos de dimensão e menor em termos de versatilidade dos trabalhos realizados. Nesta secção são feitos trabalhos de manutenção correctiva e preventiva de superestruturas usados na Mozal e esta compreende uma das secções principais da empresa, pois ela constitui um dos pratos fortes da companhia que é a reparação, verificação e a eliminação de falhas ou problemas tais como eléctricos e mecânicos.



Figura 9: Secção de Superestrutura

3.4. Secção das painelas “potshell”

Esta é maior secção em termos de dimensões e é a menos versátil em termos dos trabalhos realizados. Nesta secção são feitos trabalhos de manutenção de potshell e esta

constitui um dos pratos fortes da companhia. Para a manutenção do potshell são feitos trabalhos de serrilharia pesada usando maçarico, macacos mecânicos e diversificados processos de processo de soldadura.



Figura 10: Secção de Pot Shell

3.5. Secção de pintura

Nesta secção são feitos trabalhos de limpeza das peças e pintura. A limpeza das peças é feita por decapagem em área, esferas de aço e por rebarbagem e limagem. A pintura é feita maioritariamente por pintura à pistola e ar comprimido mas dependendo da exigência também é feita por meio de pincel e rolos.



Figura 11: Secção de pintura

Capítulo 4 – Metodologia de resolução do problema

4.1. Apresentação dos dispositivos para endireitar as placas de base das mandíbulas de vedação

Os dispositivos em projecção visam endireitar as chapas de base das mandíbulas de vedação vergadas para cima e para baixo:

- Caso a chapa seja vergada para cima o dispositivo será composto por um endireitador (vide anexo *DEMA - EP-2023-001*) e um macaco hidráulico tendo também a possibilidade de se usar a talha manual;
- Caso a chapa seja vergada para baixo o dispositivo será composto por um endireitador que por sua vez será conectado a um guindaste recorrendo a cadeia de elos arredondados (vide anexo *DEMA - EP-2023-002*).

Assim sendo:

- Os dispositivos possibilitam endireitar as chapas de base das mandíbulas de vedação com eficiência e eficácia;
- Um dos dispositivos possui um macaco hidráulico manipulado por um comando de botoeira que reduz grandemente a aplicação de esforço humano. A configuração do dispositivo também possibilita o uso de talha manual que é actualmente usado na empresa;
- O macaco hidráulico é montado numa plataforma com rodízios com possibilidade de posicionamento manual pouco dispendioso em termos de esforço humano e tempo de posicionamento ao longo do percurso de trabalho;

4.2. Esquema cinemático

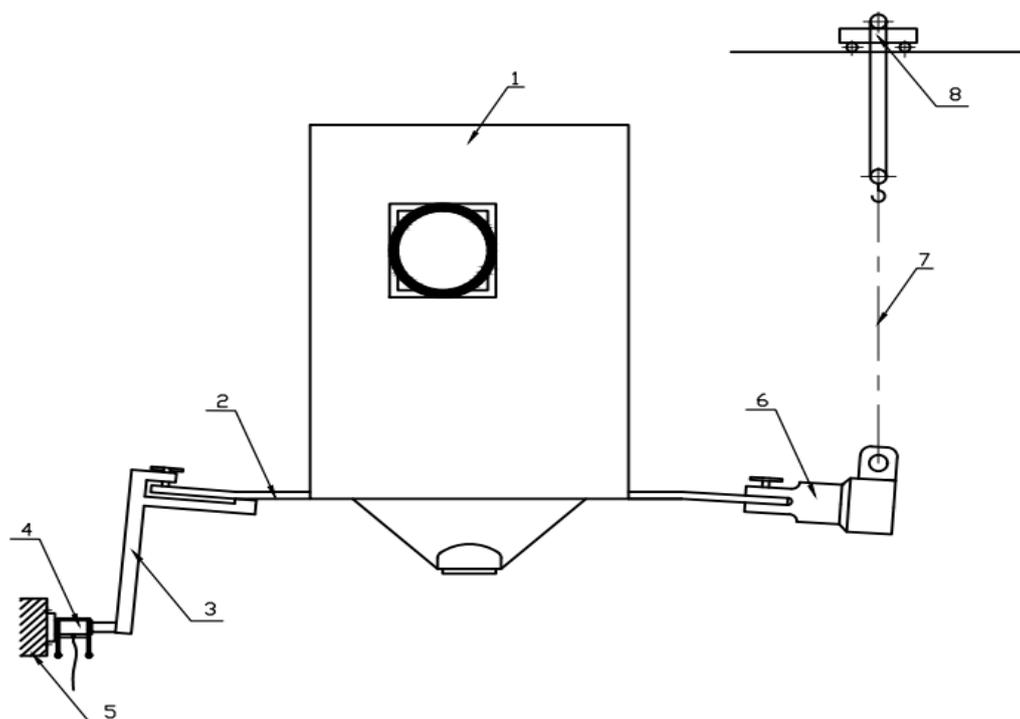


Figura 1: Esquema cinemático dos dispositivos para endireitar as placas de base das mandíbulas de vedação

Legenda:

- | | |
|--|--|
| 1- Superestrutura | 5- Fundamento |
| 2- Placa de base | 6- Endereitador de placas vergadas para cima |
| 3- Endereitador de placas vergadas para cima | 7- Cadeia de elos arredondados |
| 4- Macaco hidráulico | 8- Guindaste |

4.3. Partes componentes do dispositivo para endireitar a placa de base das mandíbulas de vedação

4.3.1. Caso as placas verguem para cima:

4.3.1.1. Macaco Hidráulico

O macaco hidráulico eléctrico é o elemento que fornece a força de tracção necessária para que o endereitador possa flectir a chapa de base das mandíbulas de vedação.

Macaco hidráulico é especialmente utilizado em locais com espaço estreito, e é leve e flexível, com alta força superior. Para o presente projecto tomou-se um macaco hidráulico da

marca Hi-Force com cilindro de alta tonelagem de dupla acção de código: HRA10012, ela possui carga máxima de 110t, curso 305mm e com sistema de elevação síncrono (controlador de velocidade fixa) de código:SLF8D. As características técnicas dos componentes do macaco escolhido estão na página 19 e 48 de [5].

4.4. Projecção do dispositivo endireitador

4.4.1 Características da chapa de base das mandíbulas de vedação

A placa de base das mandíbulas de vedação possui um comprimento total de 13600mm e é dividida em pequenos trechos iguais ao mostrado abaixo.

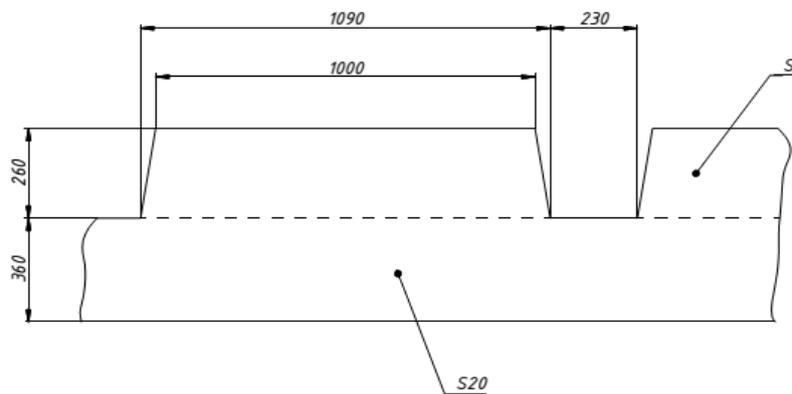


Figura 13:Características dimensionais da chapa de base das Mandíbulas de Vedação

A dimensão S_x pode ser igual a 20 ou 16mm

A chapa de base das mandíbulas de vedação é feita de aço C25 (ISO) ou ASTM A36 e possui a seguinte composição química e propriedades mecânicas.

| Elemento | Concentração (%) |
|--------------|--------------------------------|
| Carbono, C | 0,25(max) |
| Manganês, Mn | ... |
| Fósforo, P | 0,03 (max) |
| Enxofre | 0,03(max) |
| Silício, Si | 0,4 (max) |
| Cobre, Cu | 0,2 (min, quando especificado) |

Tabela 1: Composição química do material da chapa de base das mandíbulas de vedação

| Propriedade mecânica (Unidades no SI) | Valor |
|---|--------------|
| Massa específica, γ , (t/m^3) | 7,85 |
| Modulo de elasticidade, E, GPa | 200 |
| Modulo de elasticidade transversal, G, GPa | 75 |
| Tensão de escoamento, σ_e, MPa | 250 |
| Tensão de resistência, σ_r, MPa | 400 |
| % do alongamento com corpo de prova de 50mm | 30 |
| Coefficiente de Poisson, ν | 0,32 |
| Coefficiente de dilatação térmica, (10^{-6})/ $^{\circ}C$ | 12 |

Tabela 2: Propriedades mecânicas médias do aço C25

4.4.2 Determinação da força necessária para a flexão da chapa de base das mandíbulas de vedação

A determinação da força necessária para a flexão da placa de base das mandíbulas de vedação será feita mediante análise da forma de carregamento dos pontos A, B e C, e simplificação do mesmo mediante a análise das forças e deflexões comumente verificadas. A chapa de base das mandíbulas de vedação apresenta-se comumente flectida conforme a figura abaixo e com valores de deflexão variável do ponto “A”. A força de flexão da chapa é aplicada no ponto “A” e porque o dispositivo endireitador é rígido surge uma reacção vertical B que tende a impedir a deflexão daquele ponto, no ponto C a chapa de base é encastrada na superestrutura. Abaixo é apresentado a forma de posicionamento do dispositivo endireitador e o esquema de cálculo.

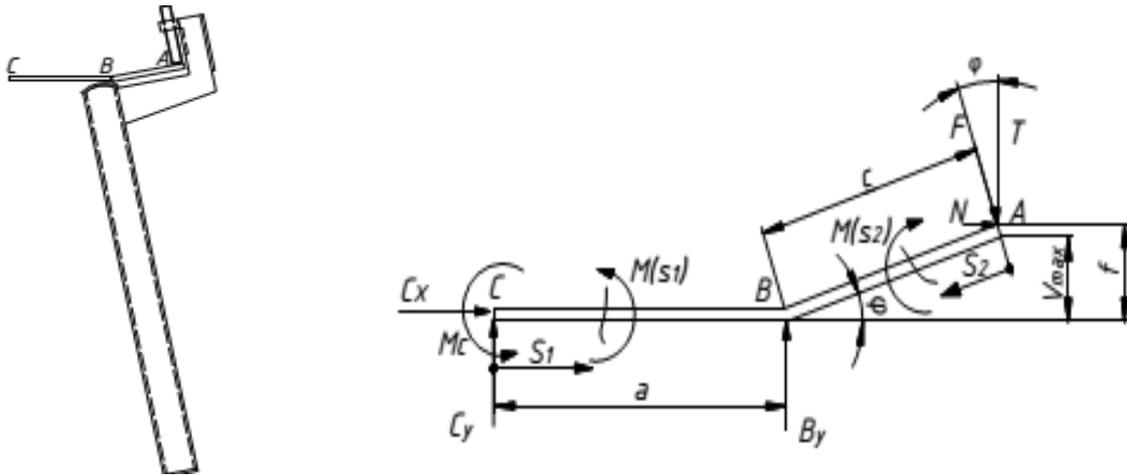


Figura 14:(a)Forma de posicionamento do dispositivo endireitador ; (b) Esquema de cálculo

O ângulo de inclinação φ e o deslocamento V são variáveis e dependentes da espessura da chapa e tem como valores máximos os seguintes: $e = 16 \text{ mm}$ ($V_{\text{max}} = 80 \text{ mm}$) e $e = 20 \text{ mm}$ ($V_{\text{max}} = 40 \text{ mm}$)

A força F será determinada por meio do Teorema de Castigliano.

De acordo com a figura 14b, as reacções de apoio são:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow C_x + N = 0 \rightarrow C_x = -F \cdot \text{sen}\varphi \quad (5)$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow C_y + B_y - T = 0 \rightarrow B_y = F \cdot \text{cos}\varphi - C_y$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M_C + B_y \cdot a - N \cdot f - T \cdot (a + \text{cos}\varphi \cdot c) = 0 \rightarrow M_C = F(\text{sen}\varphi \cdot f + \text{cos}^2 \varphi \cdot c) + C_y \cdot a$$

As equações dos esforços internos são:

Troço I:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow N(S_1) = -C_x$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow T(S_1) = C_y$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M(S_1) = C_y \cdot (S_1 - a) - F(\text{sen}\varphi \cdot f + \text{cos}^2 \varphi \cdot c)$$

Troço II:

$$\sum F = 0 \rightarrow N(S_2) = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow T(S_2) = F$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M(S_2) = -F \cdot S_2$$

Esquema (Tabela) de cálculo:

| Trecho | M_k | $\frac{\partial M_k}{\partial C_y}$ | $\frac{\partial M_k}{\partial F}$ | Limites |
|--------|---|-------------------------------------|---|---------|
| 1 | $C_y \cdot (S_1 - a) - F(\text{sen}\varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)$ | $(S_1 - a)$ | $-(\text{sen}\varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)$ | 0.....a |
| 2 | $-F \cdot S_2$ | 0 | $-S_2$ | 0.....c |

Tabela 3: Tabela de cálculo" Teorema de Castigliano"

Sendo que a estrutura é hiperestática ou seja, tem-se um número de reacções superior ao número de equações deve se determina primeiramente as reacções de apoio e posteriormente a força necessária para provocar a flexão do ponto A.

Como a viga é longa e esbelta, despreza-se o trabalho de deformação elástica devido ao corte pelo mesmo ser desprezível quando comparada com a de flexão. O Teorema de Castigliano em estruturas hiperestáticas é dado por:

$$\frac{\partial W_d}{\partial F_{hiper}} = 0$$

$$\frac{\partial W_d}{\partial C_y} = 0 \rightarrow \frac{1}{EI} \int_0^a [C_y \cdot (S_1 - a) - F(\text{sen}\varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)] \cdot (S_1 - a) ds_1 = 0$$

Resolvendo a integral obtém-se a reacção C_y e por conseguinte as demais reacções.

$$C_y = -\frac{3}{2} \frac{F}{a} (\text{sen}\varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c) \quad (6)$$

$$B_y = F \left[\cos\varphi + \frac{3}{2a} (\text{sen}\varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c) \right] \quad (7)$$

$$MC = -\frac{1}{2}F(\text{sen } \varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c) \quad (8)$$

O deslocamento do ponto A pode ser determinado como:

$$V_A = \frac{\partial W_d}{\partial F} = \frac{1}{EI} \int_0^a [C_y \cdot (S_1 - a) - F(\text{sen } \varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)] \cdot [-(\text{sen } \varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)] ds_1 + \frac{1}{EI} \int_0^c F \cdot S_2^2 ds_2$$

$$V_A = \frac{F}{EI} \left[(\text{sen } \varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)^2 \cdot \frac{a}{4} + \frac{c^3}{3} \right] \quad (9)$$

Então a força pode ser dada por:

$$F = \frac{V_A \cdot E \cdot I}{\left[(\text{sen } \varphi \cdot f + \cos^2 \varphi \cdot c)^2 \cdot \frac{a}{4} + \frac{c^3}{3} \right]} \quad (10)$$

Onde:

F - é a força necessária para causar a deflexão V_A ;

V_A - é a deflexão causada pela força F , $V_{\max} = V_A / \cos \varphi$, sendo que φ é pequeno

$V_{\max} \approx V_A$;

E - é o Módulo de elasticidade do material usado no fabrico da chapa, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

I - é momento de inércia da área da secção transversal calculado em torno do eixo neutro.

Sendo que a secção da chapa é rectangular o momento de inércia é dado por:

$$I = \frac{b \cdot e^3}{6}$$

b - é a largura da secção transversal, e sendo que as chapas só se deformam nas extremidade e não em todo o seu comprimento, toma-se $b = 250 \text{ mm}$ que na pratica representa $1/4$ de toda a largura;

a e c - representam as características dimensionais da chapa e tomam os seguintes valores 360 mm 260 mm , respectivamente.

f - é uma característica dimensional e depende da espessura da chapa, tomando os seguintes valores: $f = 60 \text{ mm}$ ($e = 20 \text{ mm}$) e $f = 96 \text{ mm}$ ($e = 16 \text{ mm}$).

Caso I: Determinação da força necessária para a flexão da chapa de base com $e=16mm$

Sabe-se que quando $e = 16mm$, $V_{\max} = 80mm$ e $\varphi = 18^\circ$

$$I = \frac{b \cdot e^3}{6} = \frac{250 \cdot 16^3}{6} = 170666,67 \text{ mm}^4$$

Substituindo as propriedades acima na equação 10 obtém-se o seguinte:

$$F = \frac{80 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 170666,67}{\left[(\text{sen}18^\circ \cdot 96 + \cos^2 18^\circ \cdot 260)^2 \cdot \frac{360}{4} + \frac{260^3}{3} \right]} \rightarrow F = 224355,06N \rightarrow F = 224,4kN$$

Caso II: Determinação da força necessária para a flexão da chapa de base com $e=20mm$

Sabe-se que quando $e = 20mm$, $V_{\max} = 40 \text{ mm}$ e $\varphi = 9^\circ$

$$I = \frac{b \cdot e^3}{6} = \frac{250 \cdot 20^3}{6} = 333333,33 \text{ mm}^4$$

Substituindo as propriedades acima na equação 10 obtém-se o seguinte:

$$F = \frac{40 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 333333,33}{\left[(\text{sen}9^\circ \cdot 60 + \cos^2 9^\circ \cdot 260)^2 \cdot \frac{360}{4} + \frac{260^3}{3} \right]} \rightarrow F = 220,7kN$$

As reacções de apoio para o caso I e II podem ser determinadas mediante a substituição da força F nas equações 5, 6, 7 e 8:

| Reacções de apoio | Caso I | Caso II |
|-------------------|--------------|--------------|
| C_x | -69329,53N | -34518,75N |
| C_y | -247573,79N | -241824,41N |
| MC | -29708,85N.m | -29018,93N.m |
| B_y | 460948,13N | 459767,22N |

Tabela 4:Reacções de apoio

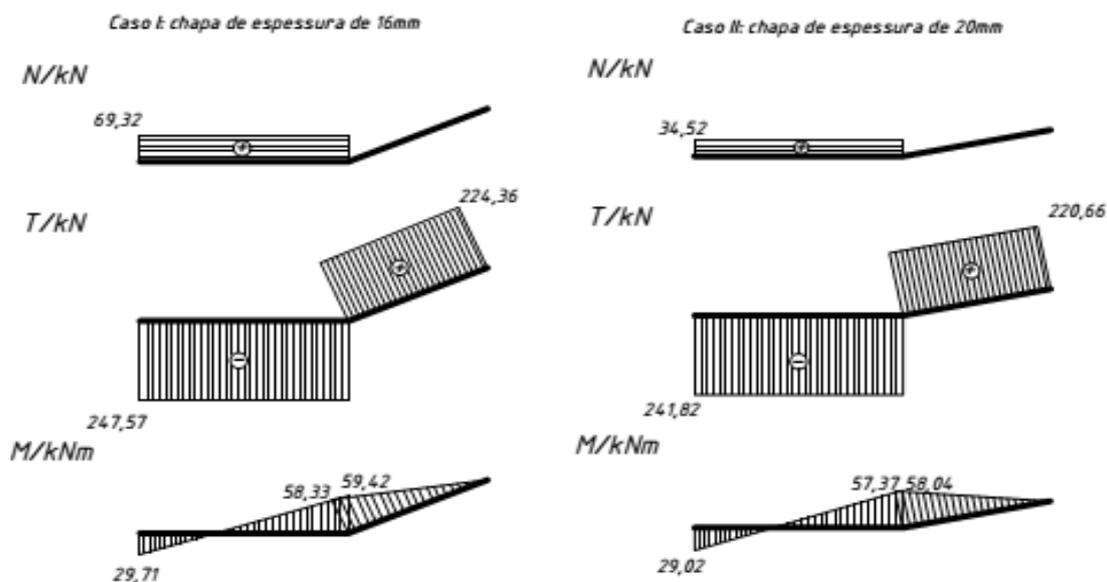


Figura 15: Diagramas de carregamento da placa

Analisando os diagramas de carregamentos para ambos casos verifica-se que o caso I é o mais carregado, e com isso a força de flexão que será usada nos cálculos posterior é $F = 224,4kN$.

4.5. Cálculo dos elementos de aperto da chapa

4.5.1. Cálculo do varão roscado

Os principais critérios de capacidade de trabalho usados para a escolha do varão roscado são a Resistência Mecânica e a Rigidez. O tipo de solicitação que o varão roscado sofre durante o seu trabalho é a compressão e quando o equilíbrio é instável sofre a flambagem. O cálculo do diâmetro do núcleo do varão roscado será baseado na resistência a compressão e na flambagem.

O varão roscado será fabricado de aço SAE 1045 ou C45 (DIN) e com um grau de resistência de 10.9.

| Elemento | Concentração (%) |
|--------------|------------------|
| Carbono, C | 0,43..0,5 |
| Manganês, Mn | 0,6-0,9 |
| Fósforo, P | 0,03 (max) |
| Enxofre | 0,05(max) |

| | |
|------------|-----------|
| Cobre, Cu | 0,2(max) |
| Crômio, Cr | 0,15(max) |
| Níquel, Ni | 0,15(max) |

Tabela 5: Composição química do aço SAE 1045

| Propriedade mecânica (Unidades no SI) | Valor |
|---|-------|
| Massa específica, $\gamma, (t/m^3)$ | 7,85 |
| Modulo de elasticidade, E, GPa | 200 |
| Modulo de elasticidade transversal, G, GPa | 75 |
| Tensão de escoamento, σ_E, MPa | 900 |
| Tensão de resistência, σ_R, MPa | 1000 |
| % do alongamento com corga de prova de 582Mpa | 9 |
| Dureza Rockwell | 30 |

Tabela 6: Propriedades mecânicas médias do aço SAE 1045 de grau de resistência 10.9

4.5.1.1. Cálculo do diâmetro do núcleo do parafuso

A condição de resistência dos parafusos devidos a carga estática compressão podem ser descritos como:

$$\sigma = \frac{F \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \leq [\sigma] \quad (11)$$

Onde:

σ - é a tensão devido a força F;

F - é a força axial de compressão; $F = 224,4kN$;

d_1 - é o diâmetro do núcleo do parafuso;

$[\sigma]$ - é a tensão admissível do material do varão roscado.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{[n]} \quad (12)$$

Onde:

σ_e - é o valor de tensão admissível do material do varão roscado; $\sigma_e = 900 \text{ MPa}$

$[n]$ - é o coeficiente de segurança recomendado, para aços com teor médio de carbono

$[n] = 2,5$;

Substituindo os parâmetros acima mencionados na equação 12, obtém-se o seguinte.

$$[\sigma] = \frac{900}{2,5} \rightarrow [\sigma] = 360 \text{ MPa}$$

Isolando d_1 na equação 11 tem-se:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma]}} \rightarrow d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 224,4 \cdot 10^3}{\pi \cdot 360}} \rightarrow d_1 \geq 28,17 \text{ mm}$$

O varão será feito de rosca métrica M33, com isso têm-se: $p = 3,5 \text{ mm}$ e $d_1 = 29,21 \text{ mm}$

4.5.1.2 Cálculo testador a flambagem

A tensão crítica a flambagem pode ser dado pela equação abaixo.

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} \leq \sigma_e \quad (13)$$

Onde:

σ_{cr} - é a tensão crítica de flambagem;

A - é a área da secção transversal, sendo que $A = \pi \cdot d_1^2 / 4 = \pi \cdot 29,21^2 / 4 = 670,12 \text{ mm}^2$

F_{cr} - é a força crítica a flambagem; a F_{cr} pode ser determinada pela equação de Euler com:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(KL)^2} \quad [14]$$

Onde:

I - é o menor momento de inércia da área da secção transversal;

$I = \pi \cdot d_1^4 / 64 = \pi \cdot 29,21^4 / 64 = 35735,19 \text{ mm}^4$

KL - é o comprimento efectivo de flambagem, K - é o coeficiente de comprimento efectivo, $K=2$ para uma coluna encastrada na base e livre na extremidade. L - é o comprimento do varão rosca que esta sujeito a flambagem. Substituindo os parâmetros acima calculados na equação 14 obtêm-se a F_{cr} .

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 35735,19}{(2 \cdot 180)^2} = 544278,07 N \approx 544,3 kN$$

Substituindo a F_{cr} e A na equação 13 obtêm-se a σ_{cr}

$$\sigma_{cr} = \frac{544,3 \cdot 10^3}{670,12} = 812,24 MPa$$

Como a $[\sigma] = 360 MPa \leq \sigma_{cr} = 812,24 MPa \leq \sigma_e = 900 MPa$, o varão sofrerá flambagem antes de sofrer escoamento e sendo que a $[\sigma] \leq \sigma_{cr}$ o varão resiste a flambagem e nesse caso usa-se da tensão de compressão para projecto.

4.6. Cálculo da resistência mecânica das roscas

O cálculo de roscas de fixação é feito com base na limitação das tensões de corte dos

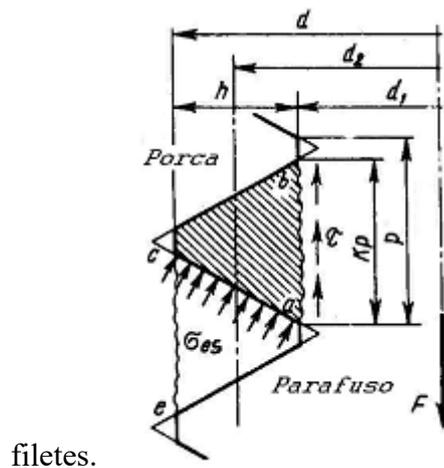


Figura 16: Tensões de corte e secção perigosa a-b

De acordo com a página 133 de [2], a condição de resistência da rosca ao corte é:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_1 \cdot H_1 \cdot K \cdot K_{irr}} \leq [\tau]_1 - \text{Para o varão roscado} \quad (15)$$

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot H_2 \cdot K \cdot K_{irr}} \leq [\tau]_2 - \text{Para a rosca interna} \quad (16)$$

Onde:

τ - é a tensão de cisalhamento;

F - é a força axial na ligação roscada; $F = 224,4kN$;

d_1 - é o diâmetro do núcleo do parafuso, $d_1 = 29,26 mm$;

d - é o diâmetro nominal do varão roscado; $d = 33mm$;

H - é a altura da rosca;

K - é o coeficiente de enchimento, para roscas triangulares $K = 0,87$;

K_{irr} - é o coeficiente de irregularidade, varia de 0,6 a 0,7, toma-se: $K_{irr} = 0,65$

$[\tau]$ - é a tensão admissível de cisalhamento da rosca. Segundo [2] a

$[\tau] = (0,2 \dots 0,3) \cdot \sigma_e$ - para aço, toma-se: $[\tau] \approx 0,25 \cdot \sigma_e$ Para o varão roscado

$[\tau]_1 \approx 0,25 \cdot \sigma_e \approx 0,25 \cdot 900 \approx 225 MPa$

Para a peça com rosca interna feita de SAE 1045 com grau de resistência 8.8 têm-se:

$\sigma_e = 640 MPa$ e $\sigma_r = 800 MPa$, tem-se: $[\tau]_2 \approx 0,25 \cdot \sigma_e \approx 0,25 \cdot 640 \approx 160 MPa$

Isolando H_1 e H_2 nas equações 15 e 16, obtém-se o seguinte:

+

$$H_2 \geq \frac{F}{\pi \cdot d \cdot [\tau]_2 \cdot K \cdot K_{irr}} \rightarrow H_2 \geq \frac{224,4 \cdot 10^3}{\pi \cdot 33 \cdot 160 \cdot 0,87 \cdot 0,65} \rightarrow H_2 \geq 23,92 mm$$

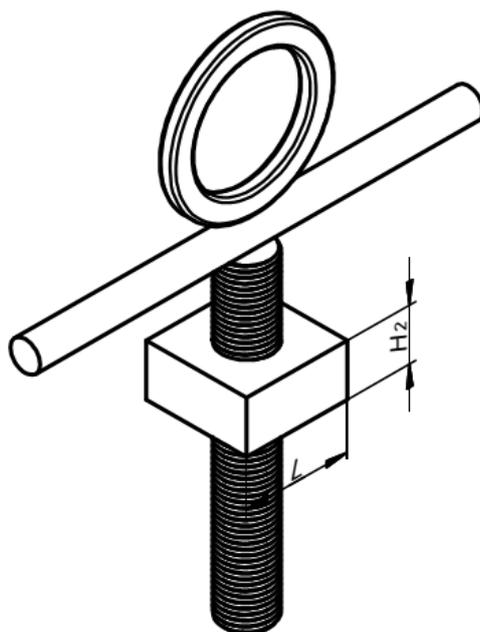


Figura 17: Dispositivo de aperto da placa

De [6] toma-se barra chata de serie métrica com largura e espessura iguais a 68mm e 28mm respectivamente.

4.7. Escolha do Macaco Hidráulico

Como determinado nos passos anteriores a carga necessária para flectir as placas é de 224,4 kN o que equivale a 22,88 toneladas.

Então para se flectir essa carga é necessário que a capacidade do cilindro do macaco seja igual ou superior a 22,88 toneladas, ou seja, 224,4 toneladas.

Para o presente projecto tomou-se de [5] um macaco hidráulico eléctrico da marca Hi-force com cilindro de alta tonelagem de dupla acção de código: HRA10012, ela possui carga máxima de 110t, curso 305mm e com sistema de elevação síncrono (controlador de velocidade fixa) de código:SLF8D. As características técnicas dos componentes do macaco escolhido estão na página 19 e 48 de [5].



Figura18. Macaco hidráulico eléctrico

Vide o desenho que ilustra que ilustra a montagem (em anexo *DEMA- EP-2023-003*).

4.8. Caso as placas verguem para baixo:

Para se fazer este trabalho deve-se remover completamente a viga anódica da superestrutura, cortar uma parte da viga e soldar novamente por dentro. É muito caro e requer muitos recursos.

Para endireitar a placa de base da garra de vedação irá recorrer-se ao dispositivo apresentado no desenho (vide anexo *DEMA- EP-2023-004*) que será encaixado a placa apertando um parafuso. De seguida conecta-se o guindaste que se encontra nas instalações da empresa com uma capacidade de 50 ton ao dispositivo e por fim levanta-se o guindaste até obter-se o nível exacto.

Capítulo 5 – Análise e discussão de resultados

Na projecção do dispositivo endireitador, procedeu-se com a determinação da força necessária para flectir as placas ou chapas de base da superestrutura teve-se dois casos em que as placas têm espessura de 16mm e de 20mm.

Analisando os diagramas de carregamentos (vide Figura 15 Página 22) para ambos casos verificou-se que as placas com espessura de 16mm é a mais carregada, e com isso a força de flexão que foi usada nos cálculos posteriores é $F=224,4\text{kN}$ o que significa que no caso de espessura de 20mm as solicitações impostas serão suportadas.

Para o aperto da chapa e o dispositivo endireitador recorre-se a um varão roscado que por sua vez feito os cálculos obteve-se o diâmetro do mesmo sendo superior ou igual a 28,17mm daí escolhe-se varão que será feito de rosca métrica M33, com isso têm-se: $p = 3,5\text{mm}$ e $d_1 = 29,21\text{mm}$. Então prosseguiu-se com o cálculo testador a flambagem e constatando-se que o varão sofrerá flambagem antes de sofrer escoamento e sendo que a $[\sigma] \leq \sigma_{cr}$ o varão resiste a flambagem e nesse caso usa-se da tensão de compressão para projecto.

Para o aperto da chapa escolhe-se a barra chata de serie métrica com largura e espessura iguais a 68mm e 28mm respectivamente (vide a figura 17 página 27).

Por conseguinte, com a escolha do macaco hidráulico verifica-se que a carga necessária para flectir as placas é de 224,4 kN o que equivale a 22,88 toneladas, o que culminou com a escolha de um macaco que suporta cerca de 110 ton pois este equipamento encontra-se nas instalações da empresa para tal torna o projecto economicamente viável.

A que salientar que para o caso em que as chapas verguem para baixo recorre-se a um dispositivo de aperto que por sua vez conecta-se ao guindaste (também existente nas instalações da empresa) com capacidade de cerca de 50 ton o que por sua vez suporta acima da carga prevista nos cálculos anteriores.

Capítulo 6 – Conclusão e Recomendações

6.1. Conclusão

O trabalho desenvolvido durante o estágio possibilitou pôr em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso e o desenvolvimento do espírito de trabalho em equipa, que foi uma das ferramentas essenciais para o sucesso no processo de reparação e manutenção de superestrutura.

Uma vez que o processo que vinha sendo usado para flectir as placas de base era lento e levava à fadiga dos trabalhadores o que chegou a culminar com acidente do trabalho, com a implementação do projecto houve eficiência na execução dessas tarefas e levando pouco tempo o operário contribuindo de uma forma notória para o progresso da empresa.

Após a execução e implementação do projecto todos os objectivos estabelecidos foram alcançados.

6.2. Recomendações

- Para se endireitar as placas de base recomenda-se que remova completamente a viga anódica da superestrutura, cortar uma parte desta viga e soldar novamente por dentro, o que é muito caro e requer muitos meios;
- Para trabalhos deste género a empresa deve dispor de todos os tipos de dispositivos de protecção individual e colectivo de modo a evitar acidentes de trabalho pois há muitos riscos de acidentes neste ambiente de trabalho.

Capítulo 7 – Referências bibliográficas

- [1] MAREE, Jérôme; KASZYNSKI B., DELCORDE X., ECL Manual of Superstructures Maintenance, 2003.
- [2] MAREE, Jérôme; KASZYNSKI B., DELCORDE X., Aluminium Smelter Project, 2002.
- [3] SITOE, Rui Vasco; Ligações Roscadas; Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Eduardo Mondlane; Moçambique; Maputo; 2005;
- [4] BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON JR., E. Russell. Resistência dos materiais. 3º Ed. São Paulo: Makron Books, 1995.652p.5630
- [5] Catálogo de Hi-Force Hydraulic tools de Bombas Hidráulicas de Corrente KITO. BULLETIN NO. EREDKDB1203-03.
- [6] Catálogo técnico Arcelor Mittal. Soluções em Aço para Construção Civil, Indústria e Agronegócio.
- [7] WELZK, F. J.; Resistência dos Materiais; Volume II, Editora Ministério do ETS da R.D.A
- [8] HIBBELER, R. C.; Resistências dos materiais. 5ª Ed. 2003; São Paulo: Pearson Prentice Hall
- [9] MIROLIUBOV, I.; ENGALITCHEV, S.; SERGUIEVSKI, N.; ALMAMETOV, F.; 1983; Problemas de Resistências dos Materiais; 2ª Ed. Editora MIR Moscou;
- [10] Timoshenko, S.; Resistências dos Materiais; Vol. 1+2 Rio de Janeiro 1960
- [11] < <https://primary.world-aluminium.org/home/>>
- [12] <<https://eprints.nmlindia.org/2714/1/127-138>>
- [13] <<https://zone.recycledevon.org/wp-content/uploads/Metals-KS3-4-Iron-and-Aluminium-Extraction-Methods-Info-Sheet.pdf>>
- [14]<<https://www.docsity.com/pt/roger-lumley-fundamentals-of-aluminium-metallurgy-production-processing-and-applications-woodhead-publishing-2010/4912571/>>
- [15] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4131935/>

ANEXOS