CÉSAR LAPA

RAFAEL AGOSTINHO GOMES

MAGAZINE AUTOMÁTICO DE SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE UMA PRENSA EXTRUSORA DE PERFIS DE ALUMÍNIO

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o Título de Graduado em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Professor Doutor
Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo

2003

1360921

DEDALUS - Acervo - EPMN

31600010617

Lapa, César
Gomes, Rafael Agostinho

Magazine Automático de Seleção e Localização de Ferramentas de uma Prensa Extrusora de Perfis de Alumínio

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica

DEDICATÓRIA

Gostaríamos de dedicar este trabalho primeiramente a nossos pais que nos deram suporte e proporcionaram todas as condições de chegar onde estamos hoje. Aos professores que nos orientaram em nossa carreira acadêmica, em especial ao professor Marcelo Augusto Leal Alves nosso orientador e colega e finalmente aos nossos amigos e namoradas Erica Piccino Duarte e Fernanda Chammas que souberam compreender os momentos de stress e sempre nos apoiaram nesta difícil etapa que completamos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Deus que é fonte de nossa fé e esperança. Aos nossos sempre presentes pais e familiares. Ao nosso paciente e sempre prestativo orientador que muito nos ajudou mesmo estando ele extremamente ocupado e atarefado e aos nossos colegas, pois sozinhos podemos fazer muito mas juntos faremos muito mais.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um produto não encontrado no Brasil: Trata-se de um Magazine automático de seleção e localização para ferramentas de prensa extrusora de perfis de alumínio. Sua função é facilitar a localização destas ferramentas que atualmente são guardadas em um almoxarifado e identificadas através de giz de lousa. A grande dificuldade para a realização deste projeto foi o peso considerável das ferramentas, necessitando, assim, o cálculo estrutural dos principais componentes do magazine para evitar posteriormente falhas em certos pontos críticos que culminariam em danos às ferramentas. Para sua realização foram utilizados desde conceitos de disciplinas como metodologia de projeto, mecânica geral, elementos de máquinas, mecânica dos sólidos, entre outras.

ABSTRACT

This report presents the development of a product that it is not made in Brasil: A mazazine capable of selection and location of tool used on a extrusion press of aluminiun profiles. It replaces a conventional storage facility where the tools are randonly placed being identified with chalk marks. The main problem faced on this project was due the tools weight. It led to careful structural calculation in order to avoid failure of critical components that would cause damage to the tools. Conceps of many disciplines were used such as: design methodology, machine elements, solid mechanics, among others.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA 4
AGRADECIMENTOS 5
RESUMO 6
ABSTRACT 7
SUMÁRIO 8
LISTA DE FIGURAS 10
LISTA DE TABELAS 12

1. INTRODUÇÃO 13
1.1. A Empresa 13
1.2. Prosposta a ser desenvolvida 15
2. COLETA DE INFORMAÇÕES EM EMPRESA CLIENTE 19
2.1. Visitas a outras empresas 20
2.2. Reunião com proprietário da Exall Amumínio 20
2.3. Levantamento de dados e pesqisa bibliográfica 21
3. BRAINSTORM 22
3.1. Soluções Propostas 22
3.1.1. Tambor de revolver 22
3.1.2. Magazine Automático 23
4. ESCOLHA DA SOLUÇÃO 24
5. PROJETO E CÁLCULOS 25
5.1. Premissas 26
5.2. Determinação da massa da ferramenta 26
5.3. Berço ou prateleira 27
5.3.1. Inclinação na extremidade 28

5.3.2. Solda 30
5.4. Corrente 32
5.5. Roda dentada e Chaveta de fixação 34
5.6. Pinos suporte do berço 36
5.6.1. Pino central 37
5.6.2. Pinos Secundários 39
5.7. Mancal do berço 40
5.8. Eixo 41
5.9. Mancais dos Eixos e Caixa de mancal 45
5.10. Estrutura Principal 48
5.10.1. Coluna Principal 49
5.10.2. Viga de Sustentação do Mancal Superior 51
5.10.3. Solda da Viga de Sustentação do Mancal Inferior 51
5.11. Estrutura secundária 52
5.12. Transmissão eixo do Magazine X Motoredutor 54
5.12.1. Motoredutor 56
5.12.2. Corrente 57
5.12.3. Roda dentada movida e motora 58
5.13. Sistema eletrônico automático 60
5.13.1. CLP 61
5.13.2. Equipamento IHM (Interface Homem Máquina) 63
5.13.3. Inversor de Freqüência 64
5.13.4. Sensor fim de curso 64
6. CONCLUSÃO 65
7. BIBLIOGRAFIA 67

LISTA DE FIGURAS

Fig.1. Imagem de um carregamento de barras cilíndricas que acabou de chegar na fábrica e imagem da prensa extrusora da firma Exall alumínios. 14
Fig.2. Imagens de perfis extrudados. 14
Fig.3. Local atual onde as ferramentas ficam armazenadas. 15
Fig.4. Detalhe da prensa estrusora e mesa de troca. 16
Fig.5. Detalhes do Porta ferramentas e da ferramenta respectivamente. 17
Fig.6. Detalhe de forno de aquecimento e dispositivo aonde se desmonta a ferramenta. 18
Fig.7 Modelo da ferramenta. 19
Fig.8. Solução Tambor de revolver. 22
Fig.9. Solução Magazine Automático. 23
Fig.10. Desenho do magazine em três dimensões. 25
Fig11. Ilustração do Berço ou Prateleira. 27
Fig.12. Modelo utilizado para os cálculos da inclinação da extremidade do berço. 28
Fig.13. Modelo da cantoneira utilizada no projeto 29
Fig.14. Detalhe da região onde será aplicado solda. 30
Fig.15. Modelo a ser utilizado para os cálculos da mínima espessura. 31
Fig. 16. Detalhe dos pinos central e secundário. 36
Fig.17. Esquema dos esforços do pino central 37
Fig.18. Gráfico para a determinação do coeficiente K_t. 38
Fig.19. Esquema de forças nos pinos secundários. 39
Fig.20. Diagrama dos esforços internos do eixo superior 43
Fig.21. Dimensões dos eixos do Magazine projetado. 44
Fig.22.Modelo utilizado para os cálculos da inclinação da extremidade do eixo. 45

Fig.23. Valores de projeto a serem utilizados para os cálculos.....46
Fig.24. Esquema da estrtura do magazine Projetado. 49
Fig.25. Modelo utilizado para os cálculos de Flambagem.....50
Fig.26. Detalhe da seção da Coluna Principal.....50
Fig.27. Estrutura secundária ou envólucro.....53
Fig.28.Transmissão eixo do magazine X motoredutor 55
Fig.29 Sistema automático de automação utilizado no magazine.....61
Fig. 30. Representação esquemática e o princípio de funcionamento de um CLP 61
Fig.31. Aspecto físico de um CLP. 63

LISTA DE TABELAS

Tab.1. Propriedades do aço H13. 26
Tab.2. Catálogo de Corrente de Rolo Passo Longo. 33
Tab.3. Catálogo de Roda Dentada. 34
Tab.4. Catálogo de chavetas do fabricante Mademil. 35
Tab.5. Catálogo de rolamento autocompensador de esfera para eixo de 12 mm. 41
Tab.6. Catálogo de rolamento autocompensador de esfera para eixo de 90 mm. 47
Tab.7. Catálogo da caixa de mancal modelo SN 218 C 48
Tab.8. Catálogo de motoredutor 56
Tab.9. Datasheet do motoredutor selecionado 57
Tab.10.Catálogo de Corrente para Micro Trator 58
Tab.11. Catálogo das rodas dentadas movida e motora. 60

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho surgiu da necessidade da empresa Exall Alumínios automatizar o processo de troca de ferramentas de uma prensa extrusora de perfis de alumínio. Atualmente esta operação é feita retirando-se as ferramentas de um almoxarifado cuja demarcação das ferramentas é feita através de giz de lousa. Sendo assim, é objetivo deste, o projeto de um magazine de armazenamento e seleção destas ferramentas.

1.1. A Empresa

A Exall Alumínio é uma empresa de extrusão de perfis de alumínio localizada em Pindamonhangaba no interior do estado de São Paulo. A fábrica caracteriza-se por ser uma das mais avançadas no ramo de perfis de alumínio com seu alto grau de automação.

O alumínio chega à fábrica em barras cilíndricas com comprimento de aproximadamente 6 metros cada. Estas barras são armazenadas em um local apropriado. No momento de serem utilizadas, estas barras são introduzidas em um alimentador automático. Este alimentador conduz as barras cilíndricas para um forno, onde estas barras são aquecidas a uma temperatura de aproximadamente 500 °C.

Fig.1. Imagem de um carregamento de barras cilíndricas que acabou de chegar na fábrica e imagem da prensa extrusora da firma Exall alumínios.

Após sofrerem o processo de aquecimento, estas barras são cortadas automaticamente em tarugos em uma tesoura a quente. Este processo de corte juntamente com o forno inteligente permite que o aproveitamento da barra cilíndrica seja de 100%.

Os tarugos, por sua vez, são introduzidos na prensa por processo novamente automático. Uma vez na prensa, estes tarugos são comprimidos por um pistão contra uma ferramenta que originará diferentes perfis na forma desejada através do processo de extrusão.

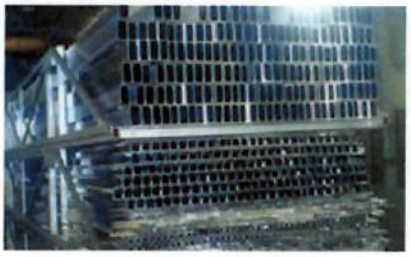


Fig.2. Imagens de perfis extrudados.

Logo após a extrusão, os perfis sofrem um processo de resfriamento realizado por ventiladores e nevoa ou jatos água. Os perfis são então puxados por uma máquina automática denominada "Puller", que tem a função de cortar os perfis enquanto estes estão sendo puxados. Os perfis cortados são posteriormente transportados por uma mesa de rolos para um robô encarregado de esticá-los.

Depois de esticados os perfis estão prontos para serem inspecionados. Passando pelo processo de inspeção, as peças são armazenadas, empacotadas e estão prontas para serem vendidas.

1.2. Prosposta a ser desenvolvida

Conforme visto no item anterior todo o processo produtivo é automático. Porém, a ferramenta que dá a forma para a peça extrudada necessita de limpeza após uma certa quantidade de ciclos, dependendo da forma da peça. Além disso, a troca de ferramentas pode ocorrer em função da necessidade de se produzir diferentes tipos de perfis. Isto faz com que esta troca de ferramenta ocorra com uma certa freqüência. Esta troca, por sua vez, ainda é um processo semimanual e complicado de ser feito, exigindo planejamento cuidadoso, demandando até dois funcionários para realizar esta operação. É um processo passível de falhas.

Fig.3. Local atual onde as ferramentas ficam armazenadas.

O processo de troca de ferramenta pode ser descrito da seguinte forma: depois de atingido o número de ciclos de utilização desta ferramenta, ou fabricado o número necessário de perfis, a ferramenta é retirada de sua posição na prensa por um pistão hidráulico e deslocada de modo perpendicular ao do movimento do pistão que executa a extrusão. Este equipamento é denominado 'mesa de troca'. A mesa de troca é alimentada por três elementos: o encosto ou BO; o porta ferramentas e a ferramenta propriamente dita.

Fig.4. Detalhe da prensa estrusora e mesa de troca.

A ferramenta propriamente dita é a responsável por dar a forma ao perfil extrudado. O porta ferramenta não é nada mais do que um local aonde a ferramenta é fixada. A ferramenta, quando montada, possui a forma de um cilindro. O encosto ou "BO" é o terceiro e último componente do conjunto. Ele é o responsável por suportar as maiores cargas de pressão sofridas devido ao processo de extrusão, garantindo assim a integridade e durabilidade da ferramenta.

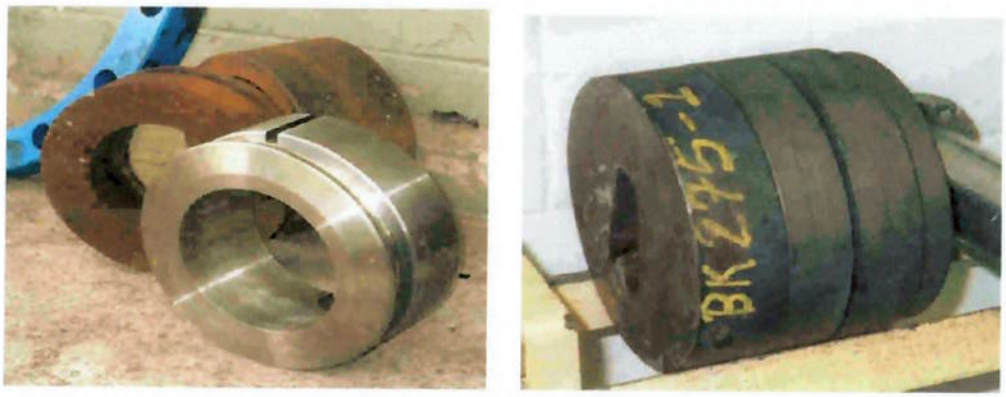


Fig.5. Detalhes do Porta ferramentas e da ferramenta respectivamente.

Após o uso da ferramenta, todo o processo que decorre posteriormente é praticamente semimanual. Como dito anteriormente, o operário necessita fazer a troca da ferramenta. Assim, ele vem com uma talha de pequeno porte (500kg), introduz um gancho no porta ferramentas e o retira juntamente com a ferramenta da prensa. Este conjunto é levado até uma máquina aonde será feita à desmontagem da ferramenta que esta no interior do porta ferramentas. Feita a desmontagem, esta ferramenta é levada para um local apropriado por um funcionário, aonde é realizada a limpeza. Após feita a montagem, este conjunto vai para a prateleira ou para um forno aonde é aquecido até a temperatura de aproximadamente 500 °C e somente após este aquecimento é que esta ferramenta volta para a mesa de troca, onde é instalada e utilizada novamente.

Fig.6. Detalhe de forno de aquecimento e dispositivo aonde se desmonta a ferramenta.

Todo o processo de seleção e localização das ferramentas é feito manualmente, o que exige tempo e um razoável grau de organização por parte do operador responsável. A nossa proposta é a criação de uma máquina que fará a seleção e localização automática das ferramentas, além de possibilitar o armazenamento perto da linha de produção de todas as ferramentas disponíveis na fábrica. Esta máquina não só beneficiará em muito a produção como também atuará na preservação das ferramentas.

2. COLETA DE INFORMAÇÕES EM EMPRESA CLIENTE

No dia 31 de março de 2003 realizamos nossa primeira visita à empresa Exall Alumínio localizada em Pindamonhangaba no Vale do Paraíba. Nesta visita analisamos o processo de extrusão dos perfis de alumínio onde avaliamos de perto a possibilidade da automação do processo de seleção e localização de ferramentas. Observamos que realmente existe a necessidade desta automação, uma vez que o processo é deficiente.

Foram levantados ainda alguns dados necessários para a elaboração do projeto como as dimensões das ferramentas de extrusão bem como o material que constitui as ferramentas, a vida útil das ferramentas, o número médio de trocas de ferramentas por dia, entre outros. Estes dados podem ser encontrados logo abaixo:

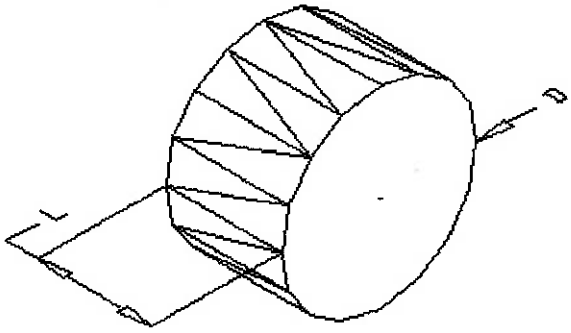


Fig.7 Modelo da ferramenta.

- Comprimento da ferramenta (L): de 20 a 150 mm.
- Vida útil da ferramenta: 120 prensadas.
- Diâmetro da ferramenta (D): 250 mm.
- Material da ferramenta: Aço H13.

2.1. Visitas a outras empresas

Em visitas realizadas a outras empresas, não foram encontrados equipamentos capazes de realizar a função proposta pelo escopo deste projeto. Porém, ao se fazer uma busca via internet de equipamentos no exterior, foi encontrado um catálogo de um equipamento similar ao que pretendemos projetar.

2.2. Reunião com proprietário da Exall Amumínio

Uma reunião com o proprietário era fator indispensável, já que este está diretamente relacionado com o projeto por ser o comprador do projeto final. Nesta foram ouvidas algumas sugestões e exigências a serem levadas em conta. Como por exemplo, as dimensões máximas do equipamento, o valor máximo a ser pago pelo projeto, o número de ferramentas a serem armazenadas, a forma como se deseja realizar a interação operador-máquina, e alguns outros fatores relevantes.

Alguns destes dados podem ser encontrados abaixo:

- Número mínimo de ferramentas a serem armazenadas: 100 ferramentas.
- Comprimento e largura máximos da máquina: 1700 mm.
- Altura da máquina: a desejar.
- A localização de ferramentas deverá ser feita través de um touchscreen que dá acesso ao software de localização.

2.3. Levantamento de dados e pesqisa bibliográfica

Com os dados levantados nas visitas e reuniões, além da solução definida (como mostrado no tópico a seguir), foi possível realizar uma pesquisa bibliográfica de alguns catálogos de equipamentos que serão utilizados na confecção do equipamento. Tais como: catálogo de correntes, de motores, alternadores, fabricantes de parafusos, rolamentos, etc.

3. BRAINSTORM

A partir dos dados e informações coletadas foram propostas algumas soluções através de um "brainstorm". Tendo em mãos estas, foi feito um estudo qualitativo e de viabilidade, a fim de escolher a melhor solução.

3.1. Soluções Propostas

3.1.1. Tambor de revolver

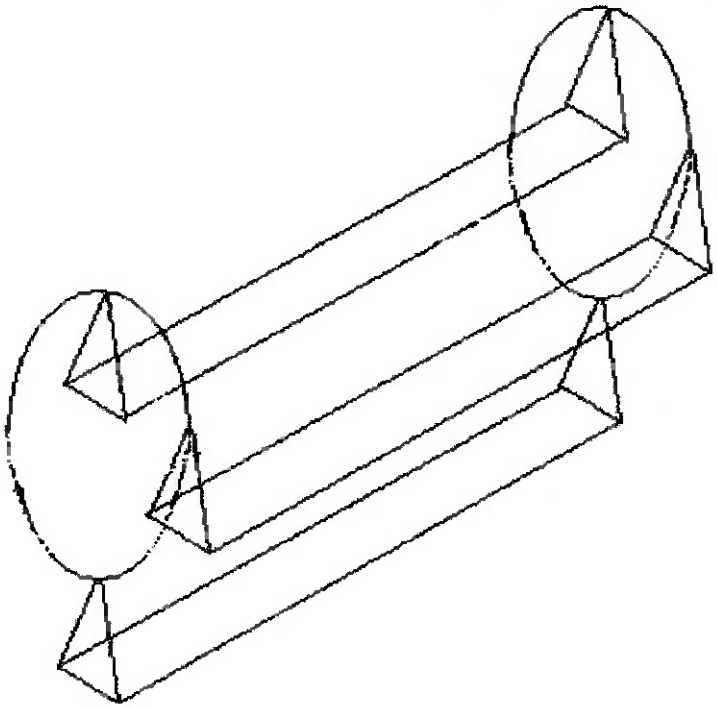


Fig.8. Solução Tambor de revolver.

A solução de tambor de revolver é constituído de duas rodas dentadas onde são fixados os berços (local de armazenamento das ferramentas). Conforme a rotação destas rodas dentadas, os berços terão um movimento curvilíneo sendo possível assim localizar a prateleira desejável e conseqüentemente a ferramenta.

3.1.2. Magazine Automático

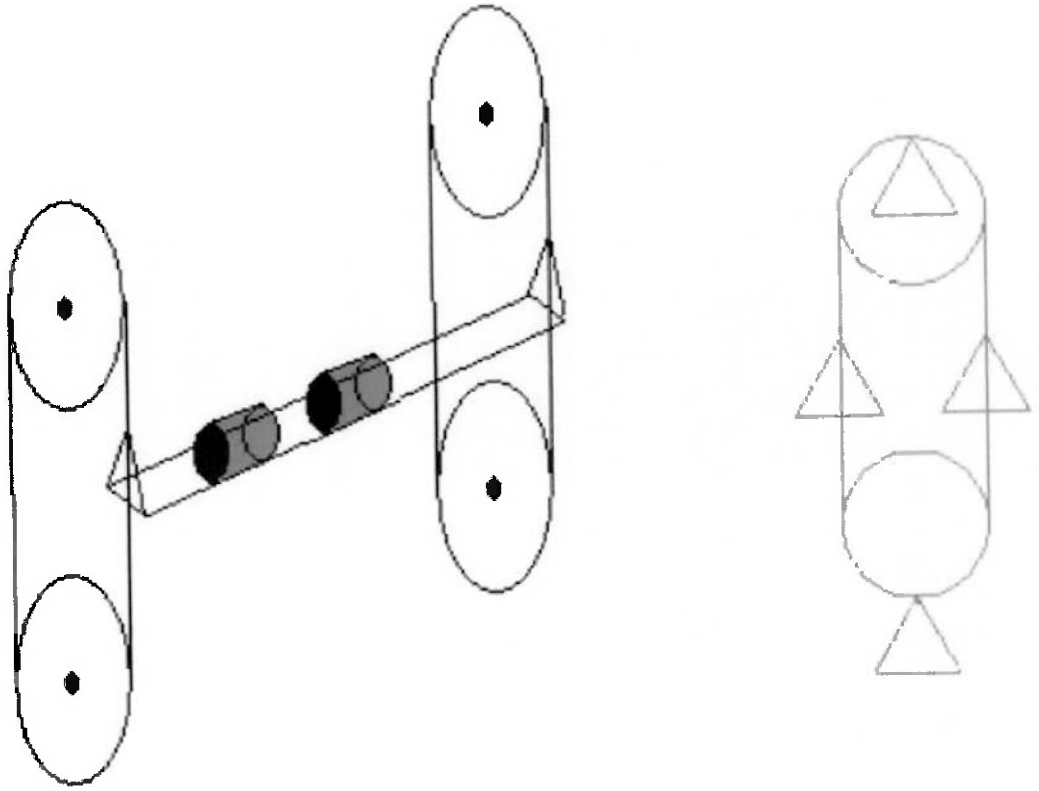


Fig.9. Solução Magazine Automático.

A solução Magazine automático será constituída de um conjunto de berços dispostos ao longo de um carretel girante. A localização de ferramentas pelo operador será feita através de um touchscreen que dá acesso ao software de localização. O software será responsável por localizar o berço onde se encontra a ferramenta desejada além da posição desta neste mesmo berço. Uma vez localizada a ferramenta o carretel será acionado por um motor elétrico que posicionará o berço no local desejado para o acesso da ferramenta.

4. ESCOLHA DA SOLUÇÃO

A solução Magazine Automático foi escolhida em relação ao Tambor de revolver. Isto ocorreu devido ao fato da "*solução um*" ultrapassar as dimensões impostas pelo cliente. Ou seja, quando fizemos a visita à fábrica de nosso cliente, ele estipulou as máximas medidas de comprimento (1700mm) e largura (1700mm) que o dispositivo poderia ter para que fosse possível introduzir este num espaço condizente. Uma outra condição imposta pelo cliente foi o número mínimo de ferramentas (100 ferramentas) que este dispositivo deveria armazenar.

Através de cálculos pode ser observar que os diâmetros das rodas dentadas da solução tambor de revolver para suportar pelo menos 100 ferramentas eram superior ao máximo estipulado e, sendo assim, esta solução tornou-se inviável.

Já a solução do magazine automático, o diâmetro da roda dentada pode ser variável tendo um mínimo valor para que os berços não se choquem uns aos outros. Conforme a ser mostrado em etapas futuras este diâmetro mínimo é por volta de 1700mm. Já o comprimento deste magazine vai depender do comprimento do berço. Assim pode-se introduzir um maior número de berços, aumentando a altura do equipamento que não é imposta, e diminuir o comprimento do magazine como um todo.

O equipamento em função de apresentar grande porte será parcialmente enterrado no solo. Com intuito de proteger o equipamento e as ferramentas contra poeira e outras partículas indesejáveis todo o equipamento será envolvido por uma cobertura metálica. O acesso às ferramentas será feito através de uma portinhola.

5. PROJETO E CÁLCULOS

Devido à dificuldade, em primeiro momento, de se ilustrar os cálculos do projeto de um magazine que ainda não se conhece, foi decidido então ilustrar antecipadamente o magazine projetado e a partir daí, detalhar cada região deste, mostrando dimensões e respectivos cálculos.

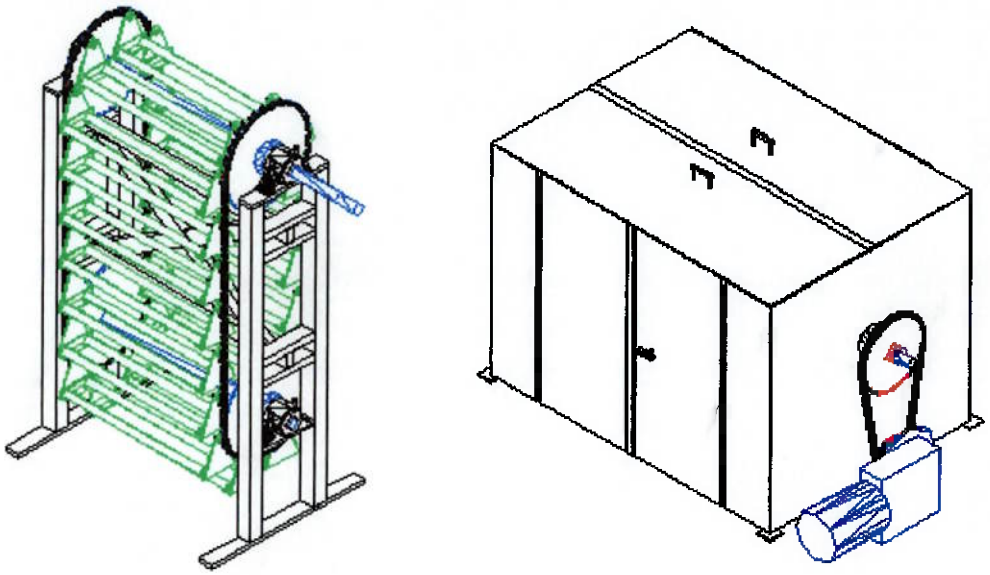


Fig.10. Desenho do magazine em três dimensões.

Estes cálculos serão subdivididos em tópicos, onde cada tópico representará uma região específica do magazine, com exceção ao primeiro e segundo tópicos, que apresentarão as premissas do projeto e cálculos preliminares respectivamente.

5.1. Premissas

1. Número mínimo de ferramentas a serem armazenadas: 100 ferramentas de 150 milímetros de comprimento.
2. Comprimento e largura máximos do magazine a ser projetado: 1700 mm.
3. Altura do magazine: a desejar.
4. A localização de ferramentas deverá ser feita através de um touchscreen que dará acesso ao softer de localização.

5.2. Determinação da massa da ferramenta

As ferramentas que serão armazenadas no magazine possuem sempre o mesmo diâmetro de 200 milímetros. Porém os comprimentos destas variam, dificultando assim saber qual é o peso exato das ferramentas. Para facilitar nos cálculos posteriores, será verificado neste tópico, qual é o peso de uma ferramenta com 200 milímetros de diâmetro (D) e 1 metro de comprimento (L). Em um tópico posterior, será possível saber o porquê deste cálculo. Esta ferramenta hipotética será nomeada de ferramenta padrão.

Para a realização deste calculo é necessário saber também qual é o material utilizado na confecção destas ferramentas. Este material é o "aço H13" e suas propriedades são mostradas na tabela abaixo.

	Aço H13
Resistência Mecânica (N/mm^2)	1800
Dureza (HRC ou HB)	52 HRC
Densidade	7,85

Tab.1. Propriedades do aço H13.

Sendo assim, o peso da ferramenta pode ser calculado pela fórmula:

$$P = \frac{\pi \cdot D}{4} \cdot L \cdot \rho \qquad [Kgf] \qquad (1)$$

Assim, encontra-se que o valor do peso da ferramenta padrão é de aproximadamente 250 Kgf.

5.3. Berço ou prateleira

A ilustração a seguir, mostra o modelo de prateleira a ser utilizada no magazine para armazenamento das ferramentas. Seu comprimento é de aproximadamente 1150 milímetros e o espaço destinado a colocar ferramentas é de 1000 milímetros. Assim, este espaço é exatamente igual ao comprimento da ferramenta padrão, concluindo que o máximo peso que a prateleira terá de suportar é de 250 Kgf.

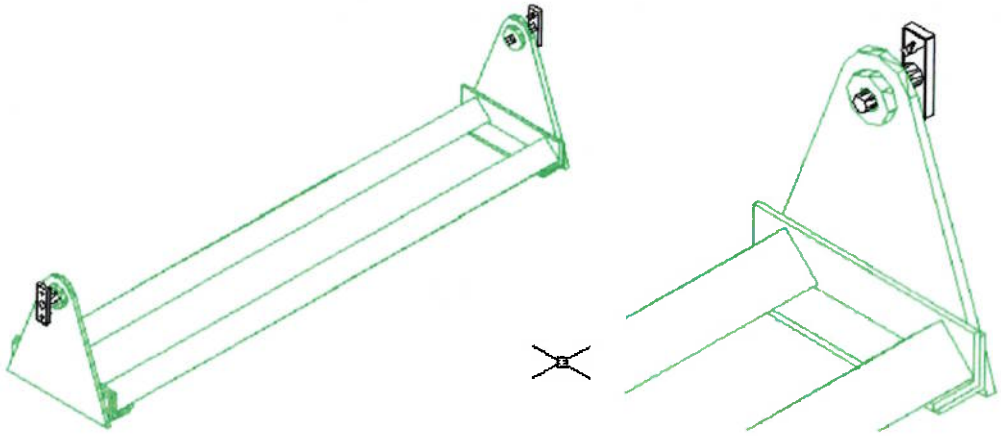


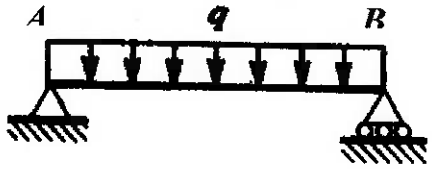
Fig11. Ilustração do Berço ou Prateleira.

Conhecendo o máximo peso suportável por prateleira, é possível calcular algumas características desta prateleira como: inclinação na extremidade e espessura do cordão de solda.

Obs: Para os cálculos que seguem, será utilizado que o peso da prateleira mais ferramenta padrão ou o peso da ferramenta padrão seja de 400 Kgf. Desta maneira, os valores encontrados nos cálculos estarão sempre dimensionados com um relativo fator de segurança.

5.3.1. Inclinação na extremidade

A inclinação na extremidade é uma importante característica a ser encontrada uma vez que este valor é vital para a escolha do mancal da prateleira. Pode-se calcular seu valor, simplificando o berço conforme o modelo abaixo.



$$v = \frac{qx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$

$$v' = \frac{q}{24EI}(L^3 - 6Lx^2 + 4x^3)$$

$$\delta_c = \delta_{máx.} = \frac{5qL^4}{384EI} \qquad \theta_a = \theta_b = \frac{qL^3}{24EI}$$

Fig.12. Modelo utilizado para os cálculos da inclinação da extremidade do berço.

Onde se sabe que:

- v = *deflexão na direção y;*
- $v' = \frac{dx}{dv}$ = *inclinação da linha elástica;*
- $\delta_c = v \cdot \left(\frac{L}{2}\right)$ = *deflexão no meio do vão;*
- X_1 = *distância de A ao ponto de deflexão máxima;*
- $\delta_{max} = v_{max}$ = *deflexão máxima;*
- $\theta_a = v'(0)$ = *ângulo na extremidade esquerda da viga;*
- $\theta_b = v'(L)$ = *ângulo na extremidade direita da viga.*

Na nova situação a ser proposta, será considerado que a barra seja uma cantoneira de abas iguais com comprimento de 2" (50,8 mm) e espessura de ¼" (6,35 mm) e que esta sofra a ação do carregamento imposto pela ferramenta padrão. Pode-se verificar assim, que a situação a ser estudada é mais crítica que a situação real.

Conhecendo os valores de do coeficiente de elasticidade (E=210x10^9 N/m²) e do momento de inércia (I) cujo valor é:

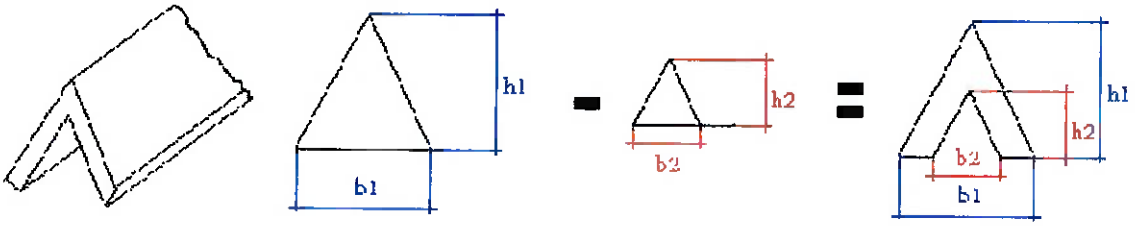


Fig.13. Modelo da cantoneira utilizada no projeto

$$I = 138384 mm^4 \qquad (2)$$

Conclui-se que o valor da inclinação na extremidade é:

$\theta = 5{,}735 \times 10^{-3}\, rad = 0{,}33°$

5.3.2. Solda

Neste tópico será determinada a mínima espessura do cordão de solda que se deve aplicar para que não haja ruptura deste. As superfícies que sofrerão a junção por solda, o modelo a ser utilizado para os cálculos da mínima espessura e as fórmulas a serem utilizadas neste cálculo pode ser vistas logo abaixo.

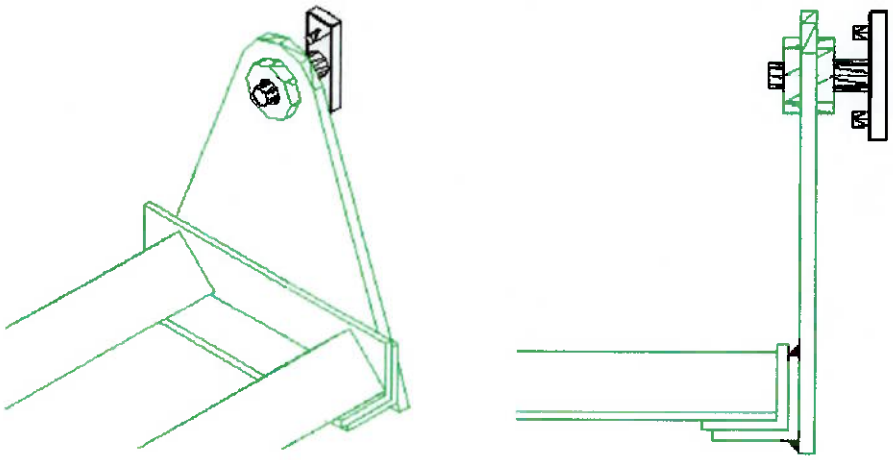


Fig.14. Detalhe da região onde será aplicado solda.

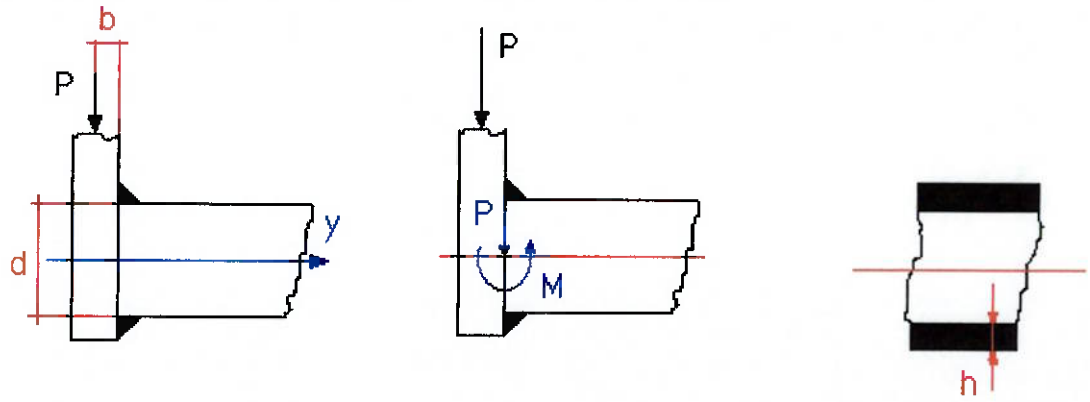


Fig.15. Modelo a ser utilizado para os cálculos da mínima espessura.

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \tag{3}$$

Onde o momento de inércia é dado por:

$$I = h \cdot \frac{b \cdot d^2}{2} \tag{4}$$

H é em função da espessura do cordão de solda *t* e possui a relação:

$$h = \frac{\sqrt{2} \cdot t}{2} \tag{5}$$

Lembrando–se que a prateira é um item simétrico e as forças devido ao peso das ferramentas mais o devido à própria prateleira será distribuído ao longo desta na condição de carga máxima, tem-se que a força o qual a solda deve suportar é 200 Kgf. Assim, substituindo os valores de projeto na equação e sabendo que o valor da tensão de escoamento é de 210 MPa, tem-se que a espessura mínima da solda é

$$t = \frac{\sqrt{2} \cdot P}{\sigma \cdot \cdot d} = \frac{\sqrt{2} \cdot 2000}{210E6 \cdot 50.8E-3} = 0{,}2mm$$

5.4. Corrente

A corrente, por ser um item que se caso falhar, provocará danos sérios tanto ao equipamento como nas ferramentas, é considerado como item crítico. Devido a isso, deve-se utilizar uma corrente com alto grau de segurança. Outra característica que esta corrente deve possuir é de ser de passo longo, para que seja possível adaptar um pino de ligação entre a corrente e o berço com diâmetro confiável, uma vez que este componente também é considerado de alto risco.

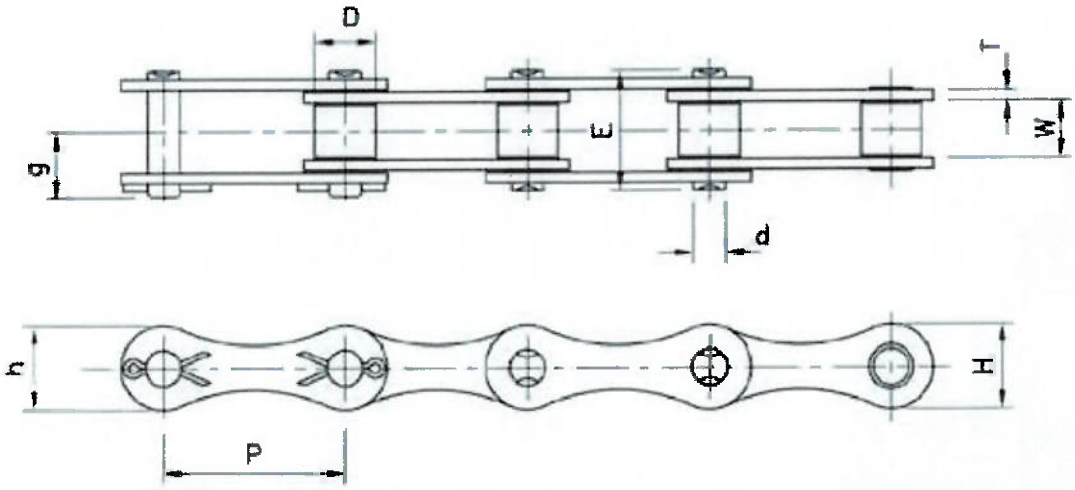
Observando catálogos de fornecedores de corrente, notou-se que para se selecionar uma corrente, existe a necessidade de conhecer a carga que esta corrente está sujeita.

Assim surgiu a necessidade de determinar a quantidade de prateleiras que o magazine deverá possuir. Partindo da premissa que o magazine deve ter capacidade de armazenar no mínimo 100 ferramentas de 150 milímetros de comprimento, chega-se conclusão que pelo menos 18 prateleiras serão necessárias.

Supondo a pior hipótese, onde todos os berços estão lotados com a ferramenta padrão, numa disposição onde o elo superior da corrente deva suportar oito destes berços, (lembre-se que a estrutura é simétrica e na pior condição no mínimo duas prateleiras estão engrenadas na roda dentada) observa-se que a carga crítica de trabalho será de:

$$C_{crítica} = 8 \cdot \frac{4000}{2} = 1600 Kgf \qquad (6)$$

Assim, com o valor da carga crítica em mãos selecionou-se através do catálogo da Daido a corrente modelo ***DID C2080*** conforme abaixo.



CORRENTE N° DAIDO	Passo P		Largura entre Placas W	Diâm. do Rolo D	PINO			PLACA		DAIDO Carga de Ruptura média (Kgf)	DAIDO Carga Máx. Admissível (Kgf)	Peso Aprox. (Kg/m)
	mm	in			Diâm. d	e	g	T	H			
DID C2040 DID C2042	25,40	1	7,94	7,92 15,88	3,97	8,2	10,1	1,5	11,7	1700	270	0,49 0,86
DID C2050 DID C2052	31,75	1.1/4	9,53	10,16 19,05	5,09	10,2	12,0	2,0	15,1	2930	450	0,84 1,32
DID C2060H DID C2062H	38,10	1.1/2	12,70	11,91 22,23	5,96	14,3	16,9	3,2	17,3	4100	660	1,45 2,17
DID C2080 DID C2082	50,80	2	15,88	15,88 28,58	7,95	18,0	20,7	3,2	23,3	7000	1150	2,00 3,10
DID C 2100H DID C2102H	63,50	2.1/2	19,05	19,05 39,68	9,54	21,9	24,5	4,8	28,8	11500	1900	3,60 5,81
DID C2120 DID C2122	76,2	3	25,40	22,23 44,45	11,11	25,4	28,2	4,8	33,8	15000	2500	4,60 7,60

Tab.2. Catálogo de Corrente de Rolo Passo Longo.

5.5. Roda dentada e Chaveta de fixação

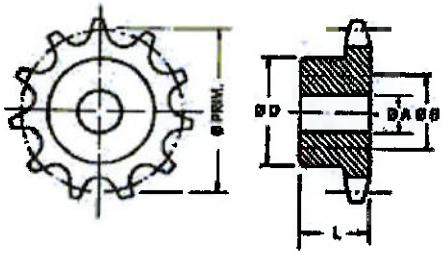
Uma vez escolhida a corrente a ser utilizada no projeto (Passo longo de 2" (50,8 mm)), partiu-se então para a especificação da roda dentada. As três principais características que esta roda dentada deve ter são:

1. Ser compatível com a corrente escolhida,

2. Ter resistência o suficiente para suportar a carga máxima aplica. Esta resistência é garantida pelo fabricante, como por exemplo a Daido, que garante que os dentes de suas rodas dentadas suportam cargas iguais ou superiores as cargas de ruptura da própria corrente.

3. Possuir diâmetro suficiente para que os berços não colidam tanto entre si como com o eixo onde a roda dentada esta montada.

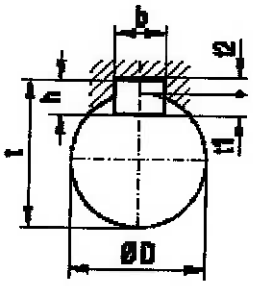
Através do método de tentativa e erro, chegou-se na roda dentada com 40 dentes. Maiores detalhes deste componente podem ser vistos logo abaixo.



Z	Ø Prim.	SIMPLES				
		DID	A	B	D	L
40	647,47	116040	45	100	150	70

Tab.3. Catálogo de Roda Dentada.

Uma vez determinada a roda dentada a ser utilizada no projeto, se parte para o encontro da chaveta a ser utilizada para a fixação desta. A respeito deste tópico não se tem muito que se falar. Para a seleção da chaveta a ser utilizada basta olhar um catálogo de chavetas. No catálogo de chavetas a seguir, o fabricante especifica a chaveta a ser utilizada conforme o diâmetro do eixo.



Ø D	b x h	t1	t2	b
10 < D ≤ 12	4 x 4	2,5	1,8	4
12 < D ≤ 17	5 x 5	3,0	2,3	5
17 < D ≤ 22	6 x 6	3,5	2,8	6
22 < D ≤ 30	8 x 7	4,0	3,3	8
30 < D ≤ 38	10 x 8	5,0	3,3	10
38 < D ≤ 44	12 x 8	5,0	3,3	12
44 < D ≤ 50	14 x 9	5,5	3,8	14
50 < D ≤ 58	16 x 10	6,0	4,3	16
58 < D ≤ 65	18x 11	7,0	4,4	18
65 < D ≤ 75	20 x 12	7,5	4,9	20
75 < D ≤ 85	22 x 14	9,0	5,4	22
85 < D ≤ 95	25 x 14	9,0	5,4	25
95 < D ≤ 110	28 x 16	10,0	6,4	28
110 < D ≤ 130	32 x 18	11,0	7,4	32

Ø D	t2	b
1/4" < D ≤ 1/2"	1/16"	1/8"
1/2" < D ≤ 3/4"	3/32"	3/16"
3/4" < D ≤ 1"	1/8"	1/4"
1" < D ≤ 1 1/4"	1/8"	5/16"
1 1/4" < D ≤ 1 1/2"	1/8"	3/8"
1 1/2" < D ≤ 1 3/4"	5/32"	7/16"
1 3/4" < D ≤ 2"	5/32"	1/2"
2" < D ≤ 2 1/2"	7/32"	5/8"
2 1/2" < D ≤ 3"	1/4"	3/4"
3" < D ≤ 3 1/2"	5/16"	7/8"
3 1/2" < D ≤ 4"	3/8"	1"
4" < D ≤ 5"	7/16"	1 1/4"
5" < D ≤ 6	1/2"	1 1/2"
6" < D ≤ 7"	5/8"	1 3/4"

Tab.4. Catálogo de chavetas do fabricante Mademil.

No projeto do magazine em questão, o diâmetro do eixo onde a roda dentada será fixada é de 90 mm. Assim deve-se selecionar a chaveta que esta no grupo onde o diâmetro varia de 85<D<95 mm.

5.6. Pinos suporte do berço

São três os pinos que suportam o berço. Um deles, chamado de pino central, faz a conexão entre o berço e uma peça intermediária. Os outros dois, que não são nada mais pinos prolongados da corrente (secundários), fazem a ligação entre a peça intermediária e a corrente. Uma ilustração em detalhe a respeito disto pode ser visto na imagem abaixo.

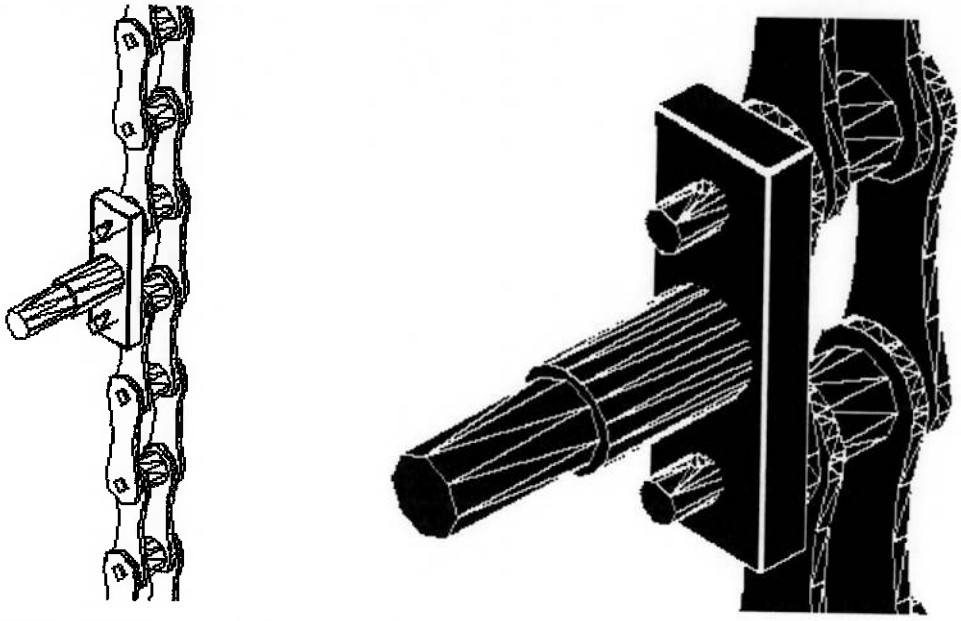


Fig. 16. Detalhe dos pinos central e secundário.

A ruptura de qualquer um destes pinos acarretará a danos devido a estrago de várias ferramentas, a inutilização do equipamento até a manutenção corretiva e parada da linha de produção devido à falta de ferramentas. Devido a este fato, tomou-se um cuidado especial nos cálculos, adotando no mínimo coeficiente de segurança de 3.

Os cálculos, para um melhor entendimento, serão divididos em duas partes: pino central e pinos secundários.

5.6.1. Pino central

O pino central, como pode ser visto na figura anterior, possui uma variação no diâmetro em um determinado local. Essa variação, que serve de posicionamento para o mancal do berço, faz com que seja obrigatório os cálculos de momento neste ponto assim como na região onde o pino esta engastado, pois certamente uma destas áreas será região onde ocorre o maior esforço no pino. O esquema dos esforços no pino pode ser visto no esquema abaixo:

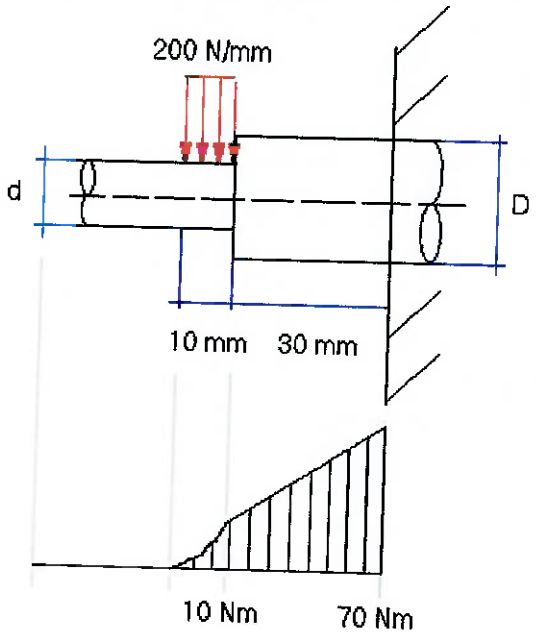


Fig.17. Esquema dos esforços do pino central

Através do conhecimento do momento na região engastada (70 Nm) pode-se calcular o diâmetro do pino nesta região a partir das fórmulas:

$$\sigma = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3} \tag{7}$$

$$CS = \frac{Sy}{\sigma} \tag{8}$$

Utilizando, coeficiente de segurança igual a CS = 3 e tensão de escoamento igual a S_y = 210 MPa, tem-se que o diâmetro é de:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \frac{\sigma}{CS}}} \approx 22mm$$

Na região onde ocorre a mudança de diâmetro, por ser considerada um ponto de concentração de tensões, é necessário multiplicar o valor do momento fletor encontrado por um fator K_t. Esse fator pode ser encontrado no gráfico abaixo.

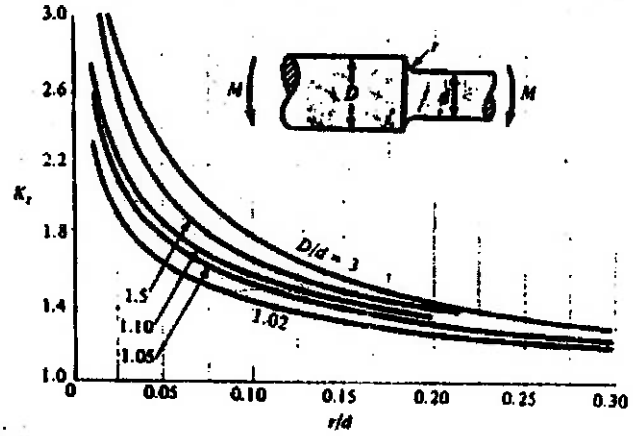


Fig.18. Gráfico para a determinação do coeficiente K_t.

Os valores de entrada no gráfico são: 'D', 'd' e 'r' (raio de curvatura entre diâmetros D' e 'd'). Como não dispúnhamos dos valores de 'd' e 'r', foi feito interações até encontrar o valor de d e r que satisfizessem o valor de coeficiente de segurança igual à CS = 3. Assim os valores encontrados de 'd', 'r' e K_t foram:

d = 15 mm

r = 2 mm

$K_t = 1.6$

Verificação dos valores encontrados:

$$\sigma = CS \cdot \frac{32 \cdot K_t . M}{\pi \cdot d^3} = 3 \cdot \frac{32 \cdot 1.6 \cdot 10}{\pi \cdot 15 \cdot 10^{-9}} \approx 145 MPa \leq 210 MPa \quad (9)$$

5.6.2. Pinos Secundários

Os pinos secundários estão solicitados a forças conforme mostrado no esquema abaixo:

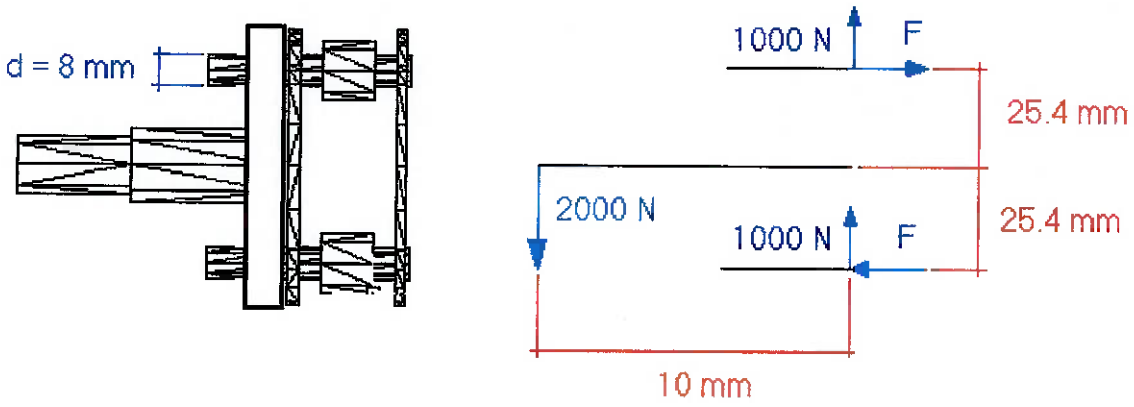


Fig.19. Esquema de forças nos pinos secundários.

O valor da força F pode ser encontrado através de um simples balanço de momentos como mostrado a seguir:

$$2000 \cdot 0{,}01 = 2 \cdot 25.4 \cdot F$$

$$F \approx 400N$$

Com os valores obtidos acima, é possível averiguar se as tensões aplicadas nos pinos são menores do que as tensões de cisalhamento e escoamento. Para os cálculos que se seguem, utilizou-se de um coeficiente de segurança CS = 3.

$$\sigma = CS \cdot \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \approx 24MPa \leq \sigma_{esc} = 210MPa \tag{10}$$

$$\tau = CS \cdot \frac{P}{N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \approx 60MPa \leq \tau_{cis} = 100MPa \tag{11}$$

5.7. Mancal do berço

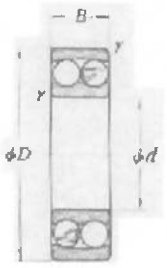
Existem duas características que o mancal do eixo deve possuir:

1. O diâmetro interno do mancal deve ser compatível com o diâmetro do pino central cuja medida é de 15 mm e foi dimensionado através de cálculos. Em relação ao diâmetro externo, faz-se uma adaptação no berço após a determinação deste.

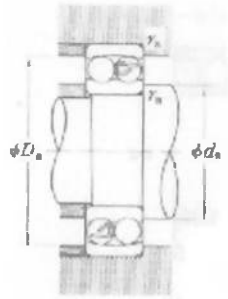
2. O mancal deve ser do tipo rolamento autocompensador de esferas. A imposição de ser autocompensador se deve ao fato de não desejar em hipótese alguma que o pino sofra esforços devido à inclinação causada pelo peso das ferramentas (Inclinação cujo valor é de 0.32°). Caso haja um

atraso entre as rodas dentadas, será função deste rolamento evitar mais uma vez esforços no pino central. Com relação ao rolamento ser de esfera, é simplesmente por ser mais viável que os rolamentos autocompensadores de rolos cilíndricos.

Atendendo a estas duas características foi selecionado através do catálogo de rolamentos da NSK o mancal de numeração ***1201.*** Suas características podem ser encontradas logo abaixo:



Furo Cilíndrico



Tipo	Dimensões (mm)				Capacidade de Carga Básica (N)		Dimensões de encosto		
	d	D	B	r	Cr	Cor	da	Da	ra
				min			min	max	max
1201	12	32	10	0,6	5700	1270	16	28	0,6

Tab.5. Catálogo de rolamento autocompensador de esfera da NSK para eixo de 12 mm.

5.8. Eixo

O Magazine proposto em nosso projeto é composto de dois eixos similares. Apesar do magazine possuir dois eixos iguais, as forças que são aplicadas nestes eixos são bastante diferentes. O eixo superior recebe carregamentos bem superiores ao do eixo inferior. Devido a este fato, será analisado somente o eixo superior e por conseqüência o eixo inferior estará super dimensionado em relação ao superior.

Antes de se iniciar os cálculos, é necessário conhecer algumas características deste eixo:

1. É no eixo superior onde será feita a conexão motora. Assim, este eixo sofrerá a ação de um momento torsor causado pelo motor. O valor deste torque pode ser obtido através dos valores mostrados na figura seguinte. (Obs.: A razão destes valores será discutida no tópico futuro).

2. O valor do diâmetro do eixo a ser calculado determinará o diâmetro interno do cubo da roda dentada.

3. Existe a necessidade do eixo possuir uma variação de diâmetro para que seja possível posicionar a roda dentada na posição correta.

4. O material a ser utilizado para a confecção do eixo será o aço SAE 8620. Suas propriedades mecânicas são: tensão de escoamento (Sy) igual a 400 MPa e limite de resistência (Su) igual a 600 MPa. [7]

5. Será utilizado um coeficiente de segurança igual à CS = 3, para a realização dos cálculos.

A figura abaixo mostra os esforços solicitantes no eixo.

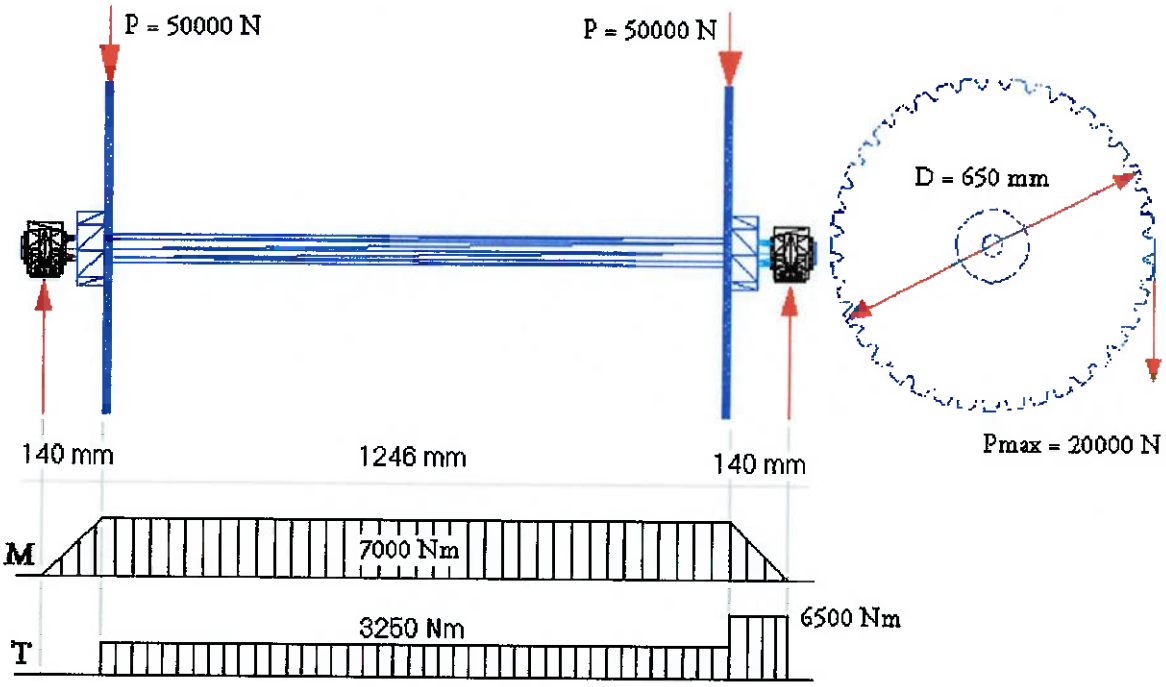


Fig.20. Diagrama dos esforços internos do eixo superior

Com o valor dos esforços solicitantes encontrados acima, é possível determinar através da fórmula abaixo qual o diâmetro do eixo que suporta tais esforços e possui coeficiente de segurança CS = 3.

$$\frac{1}{CS} = \frac{32}{\pi \cdot d^3} \cdot \left[\left(\frac{B_m}{S_y} + k_f^b \cdot \frac{B_a}{S_f} \right)^2 + \left(\frac{T_m}{S_y} + k_f^T \cdot \frac{T_a}{S_f} \right)^2 \right]^{0.5} \qquad (12)$$

Como os valores de momento fletor e torsor alternados (B_a e T_a) são praticamente nulos, pode-se reduzir a fórmula a equação:

$$\frac{1}{CS} = \frac{32}{\pi \cdot d^3} \cdot \left[\left(\frac{B_m}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{0.5} \qquad (13)$$

Onde:

B_m é o momento fletor;

T_m é o momento torsor;

S_y é a tensão de escoamento do material.

Substituindo os valores na equação, pode-se encontrar o valor do diâmetro desejado.

$$\frac{1}{3} = \frac{32}{\pi \cdot d^3} \cdot \left[\left(\frac{7000}{400 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{6500}{400 \times 10^6} \right)^2 \right]^{0.5}$$

$d = 90\ mm$

Assim, as dimensões dos eixos serão conforme a figura abaixo.

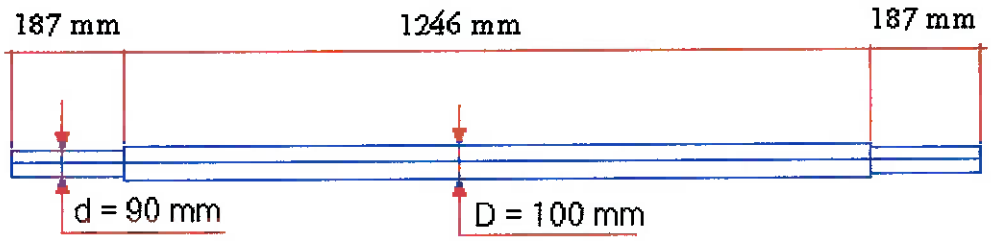
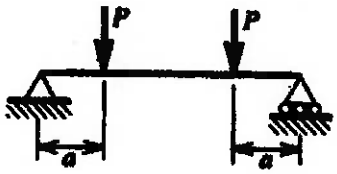


Fig.21. Dimensões dos eixos do Magazine projetado.

5.9. Mancais dos Eixos e Caixa de mancal

O primeiro item a se determinar para a seleção do mancal do eixo é a inclinação nas extremidades dos eixos. Através desta angulação é possível verificar se há necessidade de um mancal autocompensador ou não. Pode-se calcular o valor desta inclinação através do modelo abaixo. O peso do eixo foi desprezado para a utilização deste modelo. Isso pode ser adotado uma vez que as forças aplicadas no eixo são muito superiores ao seu próprio peso.



$$v = \frac{Px}{6EI}(3aL - 3a^2 - x^2) \qquad 0 \le x \le a$$

$$v' = \frac{P}{2EI}(aL - a^2 - x^2) \qquad 0 \le x \le a$$

$$v = \frac{Pa}{6EI}(3Lx - 3x^2 - a^2) \qquad a \le x \le \frac{L}{2}$$

$$v' = \frac{Pa}{2EI}(L - 2x) \qquad a \le x \le \frac{L}{2}$$

$$\theta_a = \frac{Pa(L-a)}{2EI} \qquad \delta_c = v_{máx.} = \frac{Pa}{24EI}(3L^2 - 4a^2)$$

Fig.22.Modelo utilizado para os cálculos da inclinação da extremidade do eixo.

Onde se sabe que:

- v = *deflexão na direção y;*
- $v' = \dfrac{dx}{dv}$ = *inclinação da linha elástica;*
- $\delta_c = v \cdot \left(\dfrac{L}{2}\right)$ = *deflexão no meio do vão;*
- X_1 = *distância de A ao ponto de deflexão máxima;*
- $\delta_{\max} = v_{\max}$ = *deflexão máxima;*
- $\theta_a = v'(0)$ = *ângulo na extremidade esquerda da viga;*
- $\theta_b = v'(L)$ = *ângulo na extremidade direita da viga.*

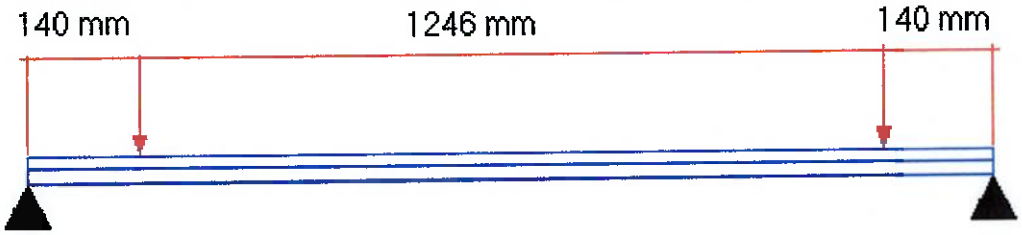


Fig.23. Valores de projeto a serem utilizados para os cálculos.

Na situação proposta, será considerado que a barra seja uma barra cilíndrica de diâmetro de D = 90 mm. Conhecendo os valores de do coeficiente de elasticidade ($E=210x10^9$ N/m²) e do momento de inércia (I) que pode ser calculado da seguinte maneira:

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \qquad [mm^4] \qquad (14)$$

$$I = \frac{\pi \cdot 90^4}{64} = 3{,}22 \times 10^6 \qquad [mm^4]$$

Conclui-se que o valor da inclinação na extremidade é:

$$\theta = \frac{P \cdot a(L-a)}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{50000 \cdot 0{,}140(1{,}246 - 0{,}140)}{2 \cdot 210E9 \cdot 3{,}22 \times 10^{-6}} = 5.72 \times 10^{-3} \qquad [Rad]$$

(15)

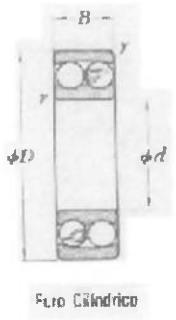
$$\theta = 5.72 \times 10^{-3}\, Rad = 0{,}33°$$

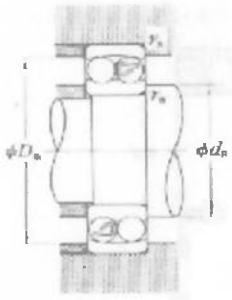
Apesar do angulo ser pequeno e não necessariamente ser preciso adotar um mancal autocompensador, utilizou-se um deste tipo. Esta precaução foi adotada

pois sempre existe desalinhamento do eixo que ocorre no momento da montagem do equipamento.

Com relação ao tipo de rolamento autocompensador a ser utilizado, de esferas ou de rolos, adotou-se a colocação de rolamentos autocompensadores de esfera uma vez que estes suportam os esforços sem grandes deformações no trilho do rolamento.

Atendendo as condições impostas no parágrafo anterior e lembrando que o eixo possui diâmetro D = 90 mm, foi selecionado através do catálogo de rolamentos da NSK o mancal de numeração ***1218***. Suas características podem ser encontradas no catálogo logo abaixo:

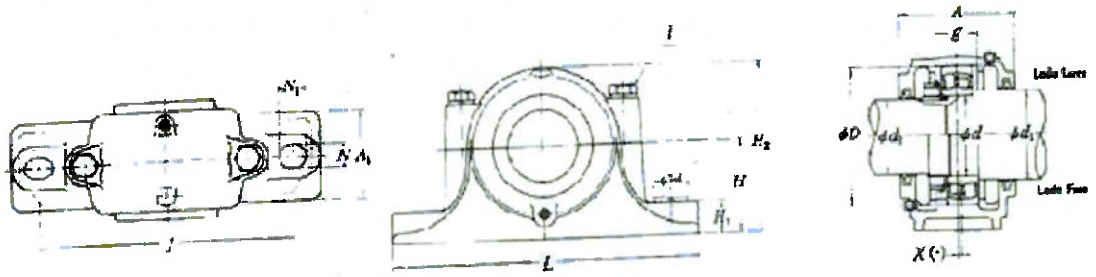




Tipo	Dimensões (mm)				Capacidade de Carga Básica (N)		Dimensões de encosto		
	d	D	B	r min	Cr	Cor	da min	Da max	ra max
1218	90	160	30	2	57500	23500	99	151	2

Tab.6. Catálogo de rolamento autocompensador de esfera da NSK para eixo de 90 mm.

Para o alojamento destes rolamentos foi feita uma seleção de caixas de mancais. A caixa selecionada é do tipo para eixos escalonados e sua numeração conforme o catalogo da NSK é ***SN 218 C***. Maior detalhes a respeito desta caixa pode ser visto no catálogo abaixo.



Dimensões (mm)														
d_1	d_2	D H8	H h8	J	N	N_1	A	L	A_1	H_1	H_2	g h3	l nominal	s nominal
100	85	160	100	290	22	27	145	345	100	35	195	62	4	M16

Massa (kg)	Componentes Apropriados									Rpm
	Rolamento de Esferas		Rolamento de Rolos		Furos	Anéis de Segurança	Luvas de Bloqueio			
Sr	Número	C (N)	Número	C (N)						
13	1218	57500	–	–	AN 18	AW 18X	SR 160 x 16,2	2	GS	
	2218	70500	22218H	262 000	AN 18	AW 18X	SR 160 x 11,2	2		
	–	–	23218C	340 000	AN 18	AW 18X	SR 160 x 10	1		

Tab.7. Catálogo da caixa de mancal modelo SN 218 C

5.10. Estrutura Principal

A estrutura do magazine, como qualquer outra, deve possuir pelo menos duas características: suportar as forças aplicadas a esta e ser rígida a ponto de não balançar no momento em que o mecanismo entrar em operação ou estiver sendo carregada e vice-versa. Para que isso não ocorresse foram tomadas algumas precauções. Como por exemplo, utilizar tubulações para confecção do magazine suficientemente espessas capazes de suportar os esforços aplicados e introduzir reforços em regiões específicas do magazine, evitando assim, a ocorrência de vibrações.

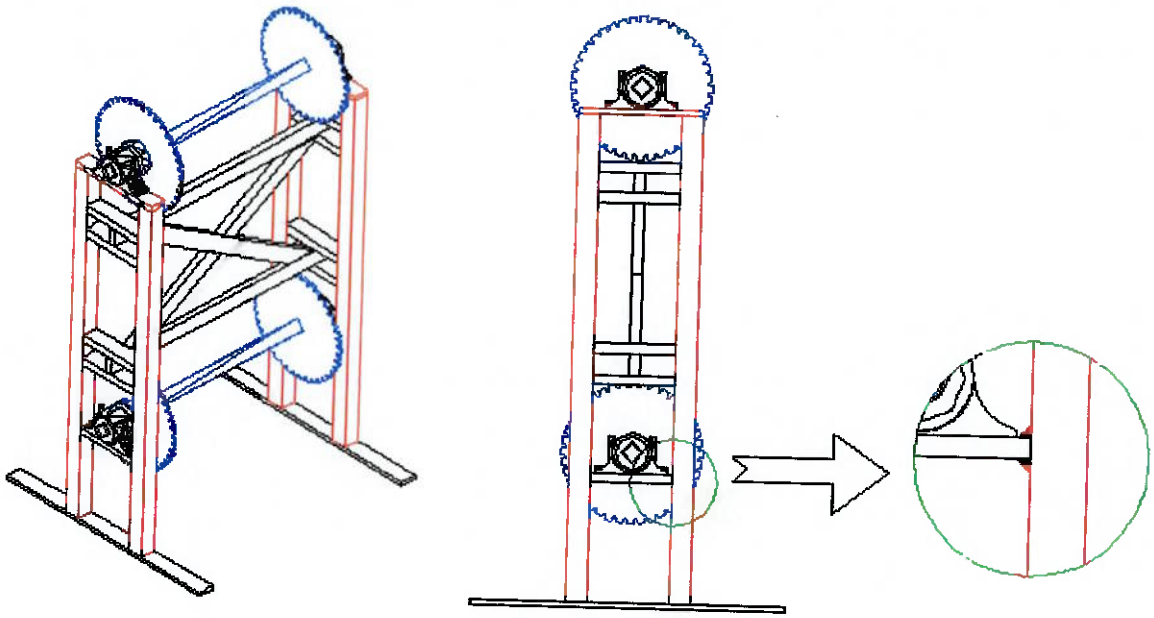


Fig.24. Esquema da estrtura do magazine Projetado.

Acima se pode ver um esquema da estrutura do magazine projetado. Nota-se nesta figura que algumas peças estão na cor vermelha. Estas peças são: Coluna Principal, Viga de sustentação do mancal superior e solda da viga de sustentação do mancal inferior. Elas é que serão os objetos de estudo neste tópico.

5.10.1. Coluna Principal

A coluna principal, por sofrer uma força de compressão devido ao peso do conjunto ferramentas, berço, eixo e roda dentada, deve ser suficientemente resistente para que não ocorra a sua flambagem. Para o estudo do caso em questão, pode se utilizar o modelo abaixo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(0{,}7 \cdot L)}$$

Fig.25. Modelo utilizado para os cálculos de Flambagem.

Onde:

Pcr é a carga de Flambagem;

E é o modulo de elasticidade do material. Neste caso E = 210x10⁹ N/m²;

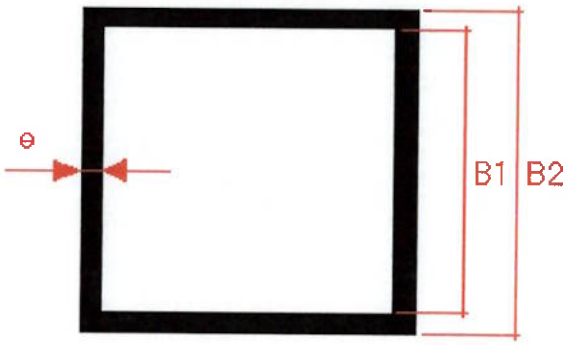
L é o comprimento da coluna cujo valor é de L = 2310 mm

I é o momento de inércia da coluna e seu valor é de:

B1 = 100 mm

B2 = 90,5 mm

e = 3 mm



$$I = \frac{B_2^4 - B_1^4}{12}$$

$$I = 1{,}83E - 6m^4$$

Fig.26. Detalhe da seção da Coluna Principal

Desta maneira encontra-se o valor de P_{cr} igual a:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \times 10^9 \cdot 2{,}743 \times 10^{-6}}{(0{,}7 \cdot 2{,}310)^2} = 1448310N$$

Como o valor da carga aplicada é de P = 25000 N, pode-se verificar que esta coluna não ira flambar.

5.10.2. Viga de Sustentação do Mancal Superior

A viga de sustentação do mancal superior deve ser suficientemente espessa para que não sofra cisalhamento devido à força aplicada pelo mancal. Considerando que a força aplicada pelo mancal seja pontual e que o material da viga tenha tensão de escoamento igual 210 Mpa, encontra-se que o mínina altura que esta viga deve possuir é de:

$$\tau_{cis} = \frac{\sigma_{esc}}{2} = \frac{F}{b \cdot h} \Rightarrow h = \frac{2 \cdot F}{h \cdot \sigma_{esc}} \tag{16}$$

$$h = \frac{2 \cdot 50000}{0{,}1 \cdot 210 \times 10^6} \approx 5mm$$

Assim, como está sendo utilizada uma viga de espessura de 1" (25,4 mm), a probabilidade de falha desta é nula.

5.10.3. Solda da Viga de Sustentação do Mancal Inferior

Os cálculos a serem utilizados para a determinação da mínima espessura da solda da viga de sustentação inferior são exatamente os mesmos utilizados na solda da prateleira itens anteriores. Assim, a mínima espessura pode ser determinada através da fórmula:

$$t = \frac{\sqrt{2} \cdot P}{\sigma \cdot \cdot d} \tag{17}$$

Onde o valor da carga aplicada é de P = 25000 N (pois é pelo menos metade da força aplicada na viga de sustentação superior), a tensão de escoamento do material é de 210 Mpa e o valor da distância é d = 1". Desta maneira, chega-se a mínima espessura de:

$$t = \frac{\sqrt{2} \cdot 25000}{210 \times 10^{6} \cdot 25{,}4 \times 10^{-3}} \approx 6{,}7mm$$

5.11. Estrutura secundária

A estrutura secundaria do magazine é o envolucro do magazine. Este envólucro possui as seguintes funções:

1. Dispositivo de segurança contra acidentes. O envolucro evita o contato humano com as partes moveis do magazine, uma vez que este deverá ser aberto somente após a paralisação total do sistema, que será notificado através de um sistema eletrônico. Maiores detalhes a respeito do sistema eletrônico serão visto em tópicos posteriores.

2. Evitar contato das ferramentas com o meio ambiente. Desta maneira, é possível proteger as ferramentas de impurezas como a poeira por exemplo.

3. Suporte para o aparato eletrônico. É neste onde se encontrará fixada toda a parte inteligente do Magazine.

Não foi feito cálculos para se determinar a estrutura deste envólucro. Isto se deve ao fato deste não sofrer carregamentos, exceto os causados pelo peso dos próprios

componentes. Mas apesar disto, preocupou-se em projetar um envólucro suficientemente rígido que não sofresse deformações ou deteriorização devido a pequenas forças aplicadas. Uma imagem desta estrutura secundária pode ser vista abaixo.

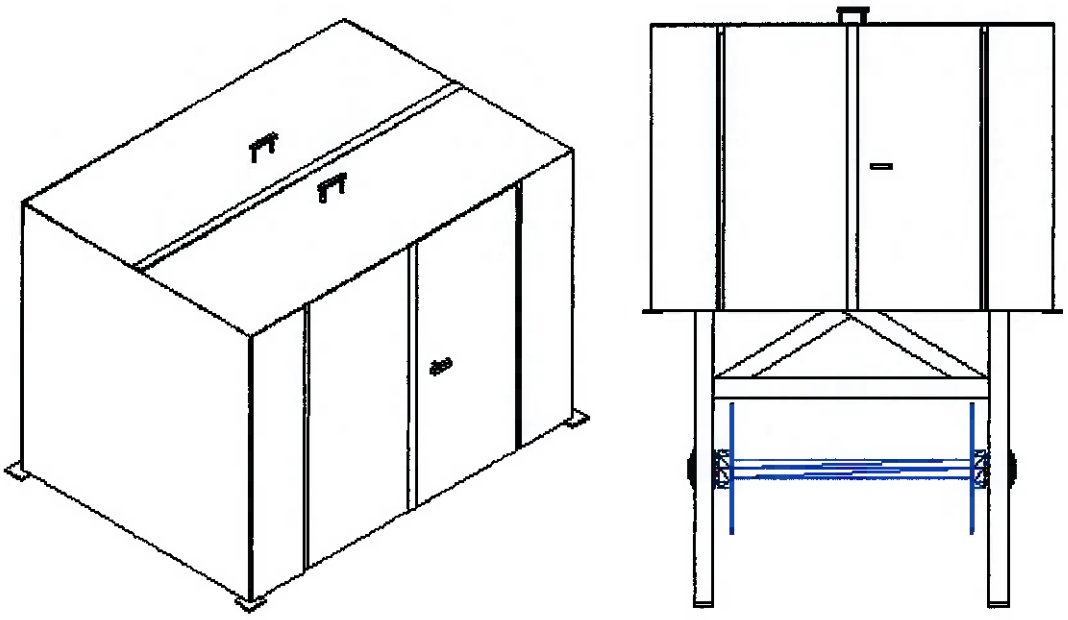


Fig.27. Estrutura secundária ou envólucro.

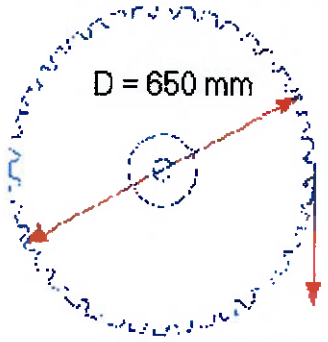
Pode-se observar por esta imagem que a altura deste envólucro é menor do que a altura da estrutura principal. Isto se deve ao fato de parte do magazine ser aterrada ao solo. Para a execução de alguma manutenção no magazine, existe a necessidade da retirada da estrutura principal do interior do envólucro. É devido a este fato que o envólucro possui uma abertura superior e a estrutura principal possui quatro ganchos, onde será feita a conexão estrutura principal-talha. Para a retirada desta estrutura, existe a necessidade de retirada de todas as ferramentas do interior do magazine. Evita-se desta maneira, a existência de choques entre berços e/ou ferramentas com conseqüentes quedas e danos em ferramentas.

5.12. Transmissão eixo do Magazine X Motoredutor

Para a seleção do conjunto motoredutor tornou-se necessário a realização de algumas perguntas. Tais como: Qual seria a demanda diária de troca de ferramentas? Como seria feita a programação da troca de ferramentas? Qual a velocidade máxima permitida que as prateleiras poderiam girar? Como deveria estar posicionado o conjunto de acionamento? Dentre outras.

O primeiro passo foi, então, prever como se daria a troca de ferramentas. Para isso utilizou-se dos conhecimentos a respeito da linha de produção. Foi observado que se realiza em média de 10 a 12 trocas de ferramentas por dia. Jornada essa de 16 horas. De posse desses dados, concluiu-se que uma atuação muito rápida do magazine seria desnecessária, já que há tempo suficiente para a programação das trocas de ferramentas.

Sendo assim, estimou-se a velocidade máxima de translação a ser atingida pelas prateleiras sem que haja colisão entre estas: $V_{prateleira}$ = 200 mm/s. A partir do conhecimento desta velocidade, juntamente com o diâmetro da engrenagem (roda dentada) do magazine D = 647,47mm e o valor do torque crítico sofrido pela roda dentada T = 6500 N.m devido a um dos lados a do magazine estar cheio de ferramentas e o outro lado vazio, foi possível calcular a velocidade de rotação da roda dentada (w) e a potência máxima necessária para promover esta rotação (Pot).



Pmax = 20000 N

Perímetro da roda dentada: $\pi.D \approx 2000mm$

Tempo de uma rotação: $\Delta T = \dfrac{\pi \cdot D}{V_{prateleira}} = 10s$

Velocidade angular: $w = \dfrac{2 \cdot \pi}{\Delta T} \approx 0{,}63\dfrac{rad}{s} \approx 6RPM$

Potência necessária: $Pot = T \cdot w \approx 4000W$

Tendo em mãos a rotação do eixo do superior (6 RPM) e a Potência máxima exigida pelo equipamento (4000 W), partiu-se para a determinação da transmissão "eixo do magazine X motoredutor". Uma figura ilustrativa a respeito desta transmissão pode ser vista na figura abaixo.

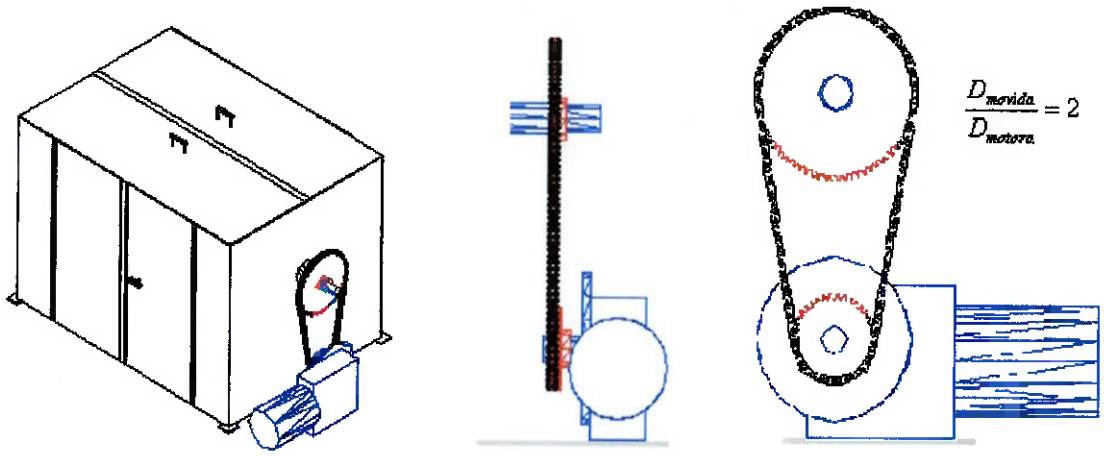


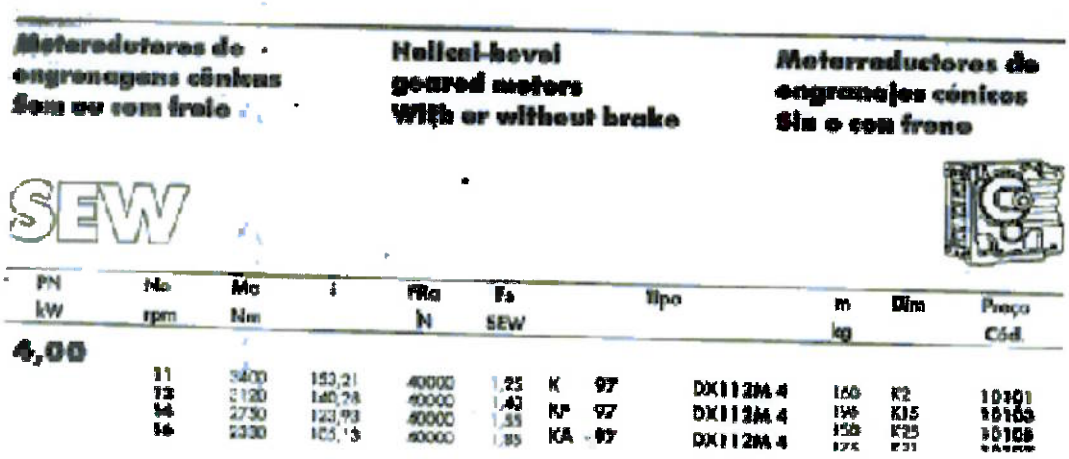
Fig.28.Transmissão eixo do magazine X motoredutor

Observando a figura, nota-se a necessidade de determinação de quatro itens:

1. Modelo de Motoredutor;
2. Corrente a ser utilizada nesta transmissão;
3. Modelo da roda movida;
4. Modelo da roda motora.

5.12.1. Motoredutor

Para se fazer a seleção do motoredutor a ser utilizado, é necessário se conhecer a máxima potência requerida pelo sistema e a rotação desejada na saída do motoredutor. Para o caso em questão sabe-se que a Potência requerida é de ***4000 W*** e a rotação desejada na saída do motoredutor é de ***12 RPM*** $(6RPM \cdot D_{movida} / D_{motora})$. Assim, através do catálogo da SEW foi selecionado o motoredutor modelo ***KF97DX112M4*** e suas características podem ser observadas no datasheet abaixo.



Motoredutores de engrenagens cônicas Sem ou com freio

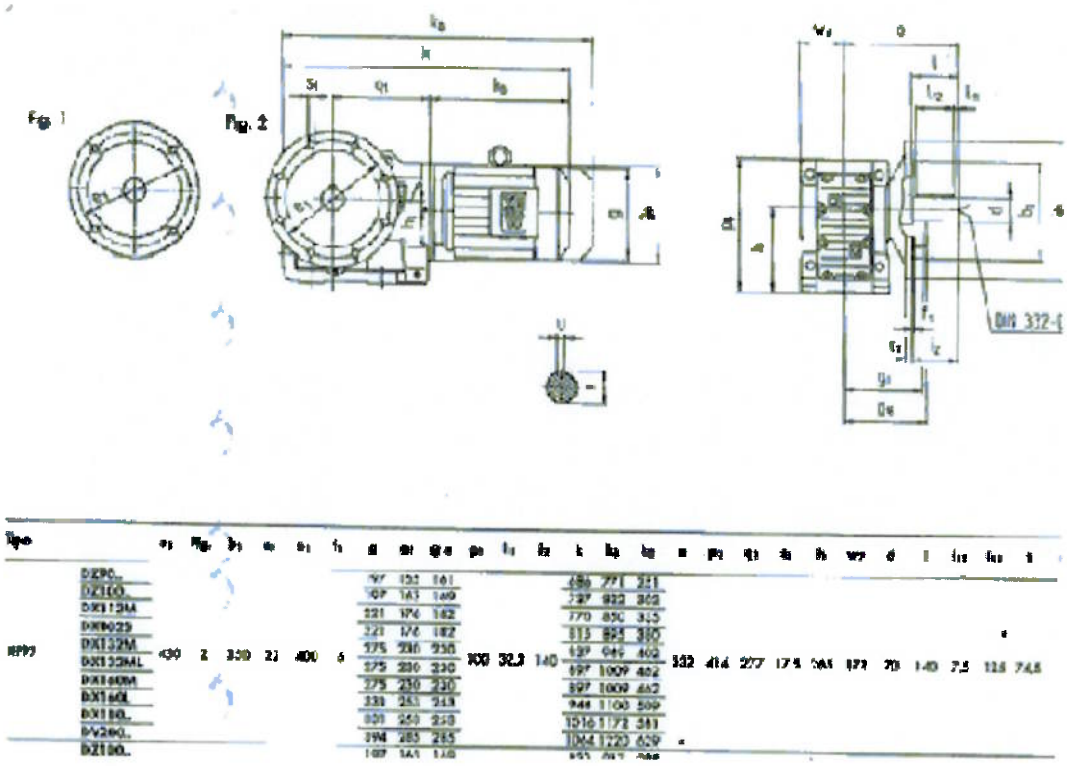
Helical-bevel geared motors With or without brake

Motorreductores de engranajes cónicos Sin o con freno

SEW

PN kW	No rpm	Mc Nm	i	FRa N	Fs SEW			Tipo	m kg	Dim	Preço Cód.
4,00											
	11	3400	153,21	40000	1,25	K	97	DX112M4	160	K2	10301
	12	3120	140,78	40000	1,40	KP	97	DX112M4	195	K15	10169
	14	2730	123,93	40000	1,55			DX112M4	158	K25	10108
	16	2330	105,15	40000	1,85	KA	97	DX112M4	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tab.8. Catálogo de motoredutor



Tab.9. Datasheet do motoredutor selecionado

Nota-se no canto esquerdo superior do catálogo que o tipo de motoredutor selecionado tem a possibilidade de possuir ou não freio. No caso do magazine projetado existe a necessidade de seleção de um modelo com freio pois seria impossível posicionar o berço em um determinado local desejado já que o próprio peso das ferramentas tenderia a deslocar os berços até uma posição de mais estável (balanceamento das forças).

5.12.2. Corrente

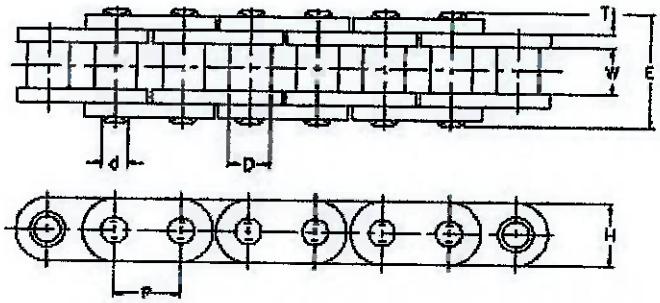
Para se selecionar a corrente desejada, existe a necessidade de conhecer a carga que esta corrente esta sofrendo. Conhecendo o valor do Torque que é aplicado na

roda dentada movida (T = 6500 N.m) e seu diâmetro (D_{movida}= 460,98 mm) é possível determinar a carga esta sendo aplicado na corrente:

$$P = \frac{T}{\frac{D_{movida}}{2}} = \frac{6500 N.m}{\frac{0,46098 m}{2}}$$

$$P = 28200 N = 2820 Kgf \qquad (18)$$

Assim, com o valor da carga aplicada na corrente selecionou-se através do catalogo da Daido da corrente modelo ***DID 640 STB*** conforme catalogo abaixo.



CORRENTE N° DAIDO	Passo P		Largura entre Placas	Diâm. do Rolo	PINO		PLACA		DAIDO Carga de Ruptura média	Peso Aprox.
	mm	in	W	D	Diâm. D	E	T	H	(Kgf)	(Kg/m)
DID 640 STB	19,05	3/4	12,7	11,91	7,51	32,8	4,0	18,4	6800	1,50

Tab.10.Catálogo de Corrente para Micro Trator

5.12.3. Roda dentada movida e motora

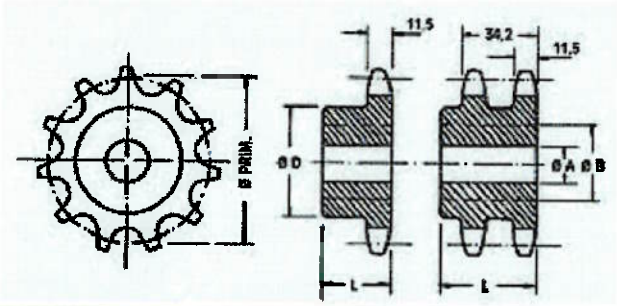
Para se selecionar as rodas movida e motora do sistema de transmissão eixo do magazine X motoredutor é necessário observar algumas características que estas rodas devem possuir:

1. Devem ser compatíveis com a corrente selecionada anteriormente. Assim seu passo deve ser de ¾" (19,05mm).

2. O diâmetro da roda motora deve ser metade do diâmetro da roda movida para satisfazer a condição anteriormente adotada de redução igual a 2 (dois).

3. O diâmetro da roda movida deve ser igual a 460,98mm para satisfazer os cálculos realizados no tópico anterior. Assim, o diâmetro da roda motora é conseqüentemente igual a 230,69 mm.

Assim satisfazendo as condições anteriormente adotadas, tem-se que as rodas dentadas movida e motora selecionadas através do catalogo da DAIDO são do tipo ***DID26038*** e ***DID16076*** respectivamente. Abaixo podem ser observadas algumas características destas rodas.



Z	Ø Prim.	DID	A	B	D	L
38	230,69	26038	30	73	110	65
76	460,98	16076	30	83	124	45

Tab.11. Catálogo das rodas dentadas movida e motora.

5.13. Sistema eletrônico automático

O sistema eletrônico automático do magazine possui o poder exclusivo de todo o processo, ficando a cargo do operador, apenas a especificação das características desejadas na saída. Ele é composto basicamente de quatro componentes:

1. CLP (Controlador Lógico Programável);
2. Equipamento IHM (Interface Homem Máquina);
3. Inversor de Freqüência;
4. Sensor fim de curso.

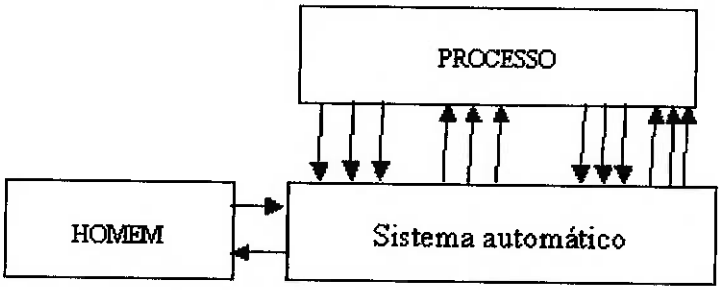


Fig.29 Sistema automático de automação utilizado no magazine.

5.13.1. CLP

O Controlador Lógico Programável (CLP) é o elemento responsável pelo controle do magazine. Ele possui as características de ser um elemento de controle versátil e, ao mesmo tempo, com uma rápida capacidade de modificação de sua programação. A figura abaixo mostra a representação esquemática e o princípio de funcionamento de um CLP, onde cada elemento é descrito a seguir.

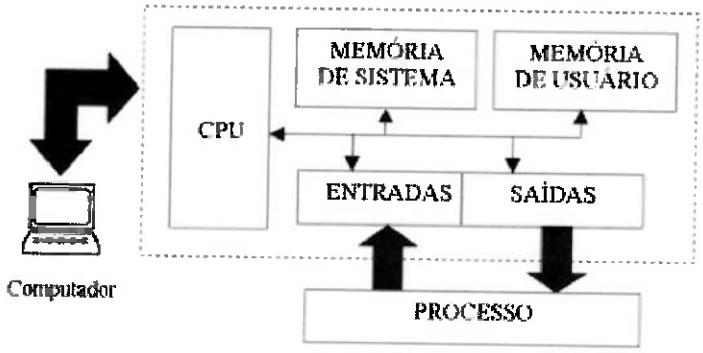


Fig. 30. Representação esquemática e o princípio de funcionamento de um CLP

Nesta figura tem-se:

1. ***CPU (Unidade Central de Processamento):*** É o elemento responsável pela execução do programa lido nas memórias.

2. ***Memória de sistema:*** Como a CPU é um elemento híbrido. Por exemplo, o mesmo componente pode ser encontrado dentro de uma calculadora ou de um vídeo cassete. Portanto, o que faz a CPU agir como um CLP é o programa encontrado na memória de sistema.

3. ***Memória de usuário:*** É a memória que armazena o programa de usuário, ou seja, o programa que irá controlar o processo.

4. ***Entradas e saídas:*** É o meio de ligação física entre o CLP e o processo, onde nas entradas o CLP recebe todos os sinais provenientes de botões, sensores, chaves, entre outros, para conhecimento do estado do processo e nas saídas conectam-se todos os elementos passivos do processo, como por exemplo: Motores, lâmpadas, eletro-válvulas, sirenes, entre outros.

Uma vez conectadas às entradas e saídas, utiliza-se um microcomputador para programar o funcionamento desejado de um processo. O aspecto físico de um CLP é mostrado na figura abaixo.

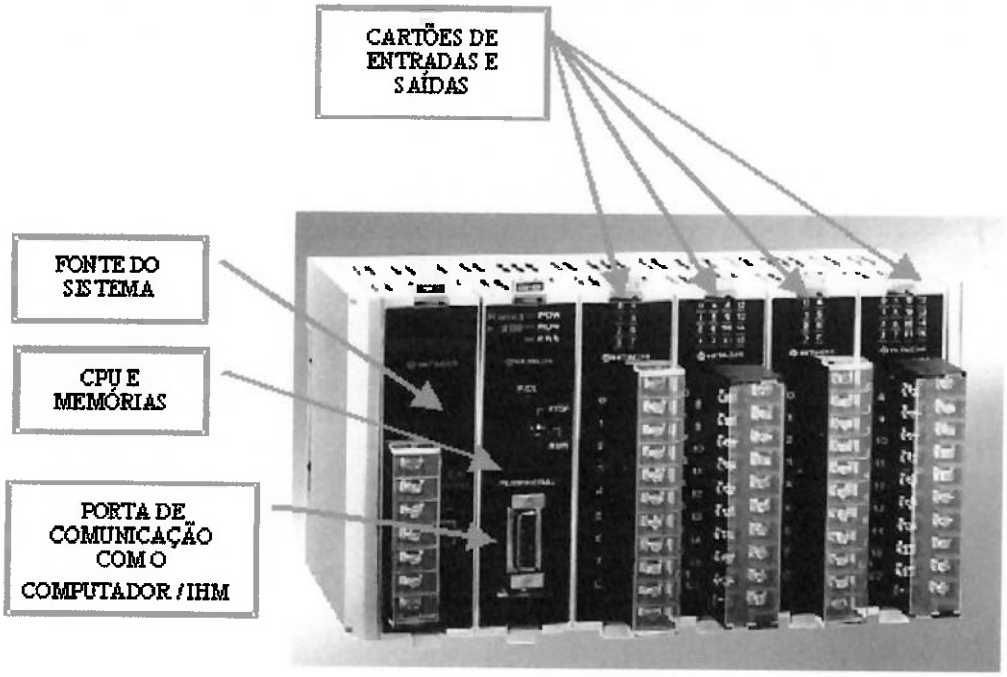


Fig.31. Aspecto físico de um CLP.

5.13.2. Equipamento IHM (Interface Homem Máquina)

O equipamento IHM é aquele que fará a interface entre o operário e a máquina. No caso em questão será utilizado um elemento "touchscreen" para a realização desta função. Em sua tela será possível:

1. Fazer ou desfazer a programação da alocação de ferramentas nas prateleiras;

2. Selecionar e localizar a ferramenta a ser utilizada;

3. Analisar quais são os espaços ocupados e não ocupados nos berços;

4. Observar mensagens dos processos que estão ocorrendo no magazine em tempo real e se caso houver algum incidente aparecerão mensagens de alerta.

5.13.3. Inversor de Freqüência

O inversor de freqüência é o elemento responsável pela aceleração e desaceleração gradual do motor quando este acionado. Este elemento não possui função nenhuma na parte de controle do magazine porém a sua característica de aceleração e desaceleração gradual do motor é indispensável por dois importantes motivos:

1. Acelerações bruscas ou vice-versa provocam uma diminuição no tempo de vida do redutor;
2. Evitar o choque entre berço devido à aceleração brusca.

5.13.4. Sensor fim de curso

O sensor fim de curso é o responsável direto pela parada dos berços na posição desejada. Ele possui a função de fazer a contagem dos berços. Por exemplo, imagine que o berço n° 1 esteja no local de retirada das ferramentas e a ferramenta que se deseja esta localizada no berço n° 5. Uma vez selecionada a ferramenta desejada através do touchscreen, o CLP terá a função ligar o motor e desligá-lo no momento em que o berço n°5 chegar na posição de retirada de ferramentas. Mas como é que ocorre o desligamento do motor no momento correto? É ai que entra o sensor fim de curso. O CLP esta programado para guardar em sua memória a parada do último berço e receber do sensor de fim de

curso a quantidade de berços que passaram por ele a partir do momento em que o motor foi religado. Neste exemplo em especifico temos o número 1 (berço n°1) guardado na memória do CLP e quando o sensor acionar 4 vezes devido a passagem de 4 berços (berços de números 2, 3, 4 e 5), tem-se que se deve desligar o motor pois o berço n°5 esta posicionado na posição correta. A partir deste momento não será mais o número 1 que será guardada na memória do CLP e sim o número 5, relacionado ao berço n°5.

6. CONCLUSÃO

O projeto de um equipamento mecânico é um tema que foi algumas vezes abordado durante o curso de engenharia mecânica, no entanto, em todos os projetos anteriores partimos de informações iniciais que nos facilitaram e nos proporcionaram um caminho a ser seguido. Neste projeto nos propusemos não somente a solucionar o problema de uma empresa, mas também realizar um projeto inteiro de engenharia mecânica.

No decorrer do projeto do equipamento em questão, inúmeras dificuldades foram encontradas. Partes do equipamento que a primeira vista pareciam simples de ser projetados e calculados se mostraram detalhes fundamentais que nos tomaram grande parte do nosso tempo, estes mesmos detalhes foram responsáveis por diversas revisões e correções no projeto em questão. Além disso, algumas discussões a respeito de quais soluções deveriam ser tomadas em vista de todas as alternativas para cada tipo de problema também foi um outro exemplo de situações presentes na vida de qualquer engenheiro.

O nosso projeto, por ter abrangido as diversas áreas da engenharia mecânica, também se mostrou extremamente útil na revisão de conceitos vistos ao longo de todo o curso de engenharia mecânica. O projeto deixou de ser apenas um trabalho de formatura, tornou-se também um instrumento de profissionalização e aprendizagem. A cada etapa de cumprimento do cronograma o projeto nos permitiu amadurecer não somente como engenheiros profissionais mas também como pessoas e colegas de profissão.

O projeto de um equipamento mecânico se mostrou pois, um importante atalho na transformação de um estudante de engenharia em um engenheiro profissional. No entanto creditamos ao conceito trabalho de formatura o real mérito do feito descrito acima sendo o importante detalhe a escolha de um tema que os alunos realmente se identifiquem para fazer desse feito uma experiência extremamente agradável.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] TIMOSHENKO/GERE, *Mecânica dos Sólidos. – Livros Técinico e Científicos S.A Editota, 1994 – Vol 1*

[2] TIMOSHENKO/GERE, Mecânica dos Sólidos. – Livros Técinico e Científicos S.A Editota, 1994 – Vol 2

[3] SHIGLEY, J.E; *Mechanical Engeneering Design. – McGraw-Hill Editora, 2004 – 7th edição – Vol Único*

[4] CATÁLOGO NSK ROLAMENTOS; *NSK Ltda.*

[5] CATÁLOGO SEW DO BRASIL; *Motoredutores Sew – Edição 99/00*

[6] CATÁLOGO DAIDO; *Disponível em: http://www.daido.com.br*

[7]PROPRIEDADES DO AÇO 8620; disponível em: *http://www.sical.com.br/materiais/cromo_niq_molib.pdf*

[8] PROPRIEDADE DAS TUBULAÇÕES UTILIZADAS; *disponível em: http://www.tuper.com.br/tubos/produtos_retangulares.php*

[9] SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL; *disponível em: http://www.eteeletronica.hpg.ig.com.br/artigos/CLP/CLP01.htm*

[10]DNA AUTOMAÇÃO; *disponível em: http://www.dnautomacao.com.br/links.asp*