

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO CONCEITUAL DE MÁQUINA CORTADORA DE CHAPAS

por

Daniel Brochier Machado

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2009



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO CONCEITUAL DE MÁQUINA CORTADORA DE CHAPAS

por

Daniel Brochier Machado

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Dr. Joyson Pacheco

Comissão de Avaliação:

Prof. Darci Campani

Prof. Dr. Eduardo A. Perondi

Prof. Dr. Ney Francisco Ferreira

Porto Alegre, 17 de Novembro de 2009

*À minha família...
Minha mãe, minha irmã
e meu irmão.*

MACHADO, D.B. Projeto Conceitual de Máquina Cortadora de Chapas. 2009. 49 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o Projeto Conceitual de uma Máquina Cortadora de Chapas. Este equipamento poderá ser utilizado para corte de chapas metálicas de aço carbono, aço inox e alumínio. Este trabalho apresenta o projeto de uma Máquina Cortadora de Chapas leve, rápida, com custo acessível, e com capacidade para um grande volume de trabalho. Além disso, é necessário que a máquina seja também fabricada e montada com facilidade (utilizando perfis estruturais padronizados), e que tenha uma tecnologia de corte que atenda as exigências do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Metodologia de Projeto, CNC, Corte de Chapas, Corte a Plasma.

MACHADO, D.B. Conceptual Design of Cutter Sheet Machine 2009. 49 of pages. Monography (Final Essay of the Course of Mechanical Engineering) – Department of Mechanical Engineering, Federal University of the State of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

ABSTRACT

This work has the intention of develop the Conceptual Design of cutter sheet machine. This equipment can be used for cutting metal sheets of carbon steel, stainless steel and aluminum. This monography aims to design a sheet cutter machine that is light, fast, cost-effective, and has a great deal of work. Furthermore, it is necessary that the machine is also manufactured and assembled easily (using standard structural shapes) and with a cutting technology that meets the requirements of this project.

KEYWORDS: Project Methodology, CNC, Cutter Sheet, Cutter Plasma.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVO.....	01
3 JUSTIFICATIVA.....	01
4 METODOLOGIA.....	02
5 PROJETO CONCEITUAL.....	02
5.1 Identificação do problema.....	02
5.2 Avaliação dos usuários (mercado).....	02
5.3 Identificação de fabricantes.....	02
5.4 Pesquisa de normas e legislação.....	02
5.5 Pesquisa bibliográfica e patentes.....	03
6 PROJETO INFORMACIONAL.....	03
6.1 Formulação do problema.....	03
6.2 Viabilidade.....	03
6.3 Usuário.....	03
6.4 Previsão de Produção.....	04
6.5 Normas.....	04
6.6 Fabricantes.....	04
7 GERAÇÃO DE CONCEITOS.....	04
7.1 Princípios físicos envolvidos.....	04
7.1.1 Configuração física.....	04
7.1.2 Tecnologia e sistema de corte.....	04
7.1.3 Estrutura do sistema.....	05
7.1.4 Atuadores e sistema de controle.....	05
7.1.5 Sistema de transmissão de movimento.....	06
7.1.5.1 Configuração funcional.....	06
7.1.5.2 Malha de Controle.....	07
7.2 Seleção de conceito.....	07
7.3 Detalhamento do conceito.....	10
7.3.1 Corte a plasma.....	10
7.3.2 Estrutura pórtico móvel.....	11
7.3.3 Motor de passo.....	12
7.3.4 Fuso de esferas.....	12
7.3.5 Guias lineares.....	12
7.3.6 Lista de custo.....	12
7.4 Projeto e construção do modelo.....	13
7.5 Considerações finais sobre o equipamento.....	15
8 CONCLUSÃO.....	16
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
ANEXO I - FONTE DE PLASMA.....	19
ANEXO II - PERFIL DE ALUMÍNIO EXTRUDADO.....	23
ANEXO III - MOTORES DE PASSO.....	25
ANEXO IV - FUSO DE ESFERAS.....	27
APÊNDICE I - DEFINIÇÃO DO PROJETO CONCEITUAL.....	28
APÊNDICE II - CÁLCULO DE INÉRCIA NOS FUSOS DE ESFERAS.....	31
APÊNDICE III – LISTA DE CUSTO.....	41

1. INTRODUÇÃO

O corte de chapas é uma demanda recorrente em vários processos de fabricação no setor industrial. Há segmentos da indústria em que, devido ao alto custo inicial para aquisição de um equipamento, utilizam-se somente do processo manual, produzindo o corte de chapas com a utilização da habilidade do operador e do auxílio de gabaritos. Isso ocasiona extrema imprecisão de um corte para outro por depender exclusivamente de aspectos subjetivos, os quais são plenamente alteráveis até mesmo pelas variações de humor, assim como saúde, idade etc. Para eliminar tais influências, desenvolveram-se os processos automatizados, particularmente os de controle numérico visto a acessibilidade apresentada atualmente por essa tecnologia. Um CNC (controle numérico computacional) permite que se realizem grande quantidade de operações com estrita tolerância dimensional para qualquer regime de produção, apresentando características de repetibilidade impossível de ser obtida num processo manual. Com isso, o corte automatizado de chapas vem suprir a demanda por um processo de corte de chapas com maior qualidade e produtividade.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a criação do Projeto Conceitual de uma Máquina Cortadora de Chapas que seja leve, rápida (Velocidade de Avanço de 100mm/s), com custo acessível, e que possua um grande volume de trabalho (2000 X 1000 X 10 mm) em aço carbono, aço inox e alumínio. Além disso, é necessário que a máquina seja também fabricada e montada com facilidade (utilizando perfis estruturais padronizados), e que tenha uma tecnologia de corte que atenda as exigências do projeto.

A máquina deve ser capaz de transformar um modelo computacional em um formato de corte na chapa. A partir de um desenho vetorizado ou de um projeto em CAD (Computer Aided Design – projeto auxiliado por computador), ocorre o corte, a separação ou a remoção do material da chapa metálica. Utilizar-se-á um software com recursos CAM (Computer-Aided Manufacturing – fabricação auxiliada por computador) para a fabricação da peça. O equipamento deve seguir os critérios listados abaixo:

- Equipamento Leve.
- Fácil Montagem, Desmontagem e manutenção
- Volume de Trabalho: 2000 X 1000 X 10 mm
- Resolução: 0,025mm
- Precisão: 0,1mm
- Torque suficiente para executar o movimento sem perda de passo (motor de passo escolhido deve ter curva de torque de acordo com os requisitos)
- Velocidade de Cruzeiro de 100 mm/s (6000mm/min)
- Produção sob encomenda

3. JUSTIFICATIVA

O processo de corte da Máquina Cortadora de Chapas parte de um sistema automatizado, o qual proporciona uma precisão mínima aliada a um bom acabamento superficial, reduzindo ou evitando etapas posteriores de usinagem para a adequação de dimensões de uma peça e/ou para a retirada de rebarbas/cantos vivos da mesma. O investimento em um equipamento automatizado de corte de chapas é justificado pelo aumento da produtividade de peças com a garantia da repetibilidade do processo de corte.

A Máquina Cortadora de Chapas é uma alternativa tanto para a obtenção de uma peça metálica como para uma produção em pequena escala, visando substituir o processo manual de corte de chapas ou o serviço terceirizado de corte.

4. METODOLOGIA

O trabalho baseia-se na metodologia de projeto de um equipamento para corte automatizado de chapas denominado Máquina Cortadora de Chapas. Selecionou-se os conceitos principais desse projeto através do Método de Desdobramento da Função Qualidade (QFD) ou Casa da Qualidade, com o intuito de analisar os itens estabelecidos para o projeto, tais como a configuração da tecnologia de corte, a estrutura, os atuadores e o sistema de transmissão de movimento. Os cálculos para a correspondência da potência do motor e para a configuração do sistema de movimentação escolhido foram feitos após a seleção da configuração do equipamento.

5. PROJETO CONCEITUAL

5.1. Identificação do problema

A máquina cortadora de chapas deve substituir o corte manual (através de moldes e gabaritos) e realizar o corte automatizado a partir de uma mesa de corte. A configuração do equipamento (selecionado a partir do projeto conceitual) para a execução do corte de chapas deve possibilitar o corte de vários metais e obter não só variadas formas geométricas com perfis planos, como também desenhos diversos na chapa base.

5.2. Avaliação dos usuários (mercado)

A Máquina Cortadora de Chapas é economicamente viável, pois utiliza, na sua construção, materiais de custo baixo a moderado quando comparados aos modelos industriais (usados nas empresas de médio e grande porte para a produção de peças em larga escala). A máquina mantém uma precisão mínima adequada ao objetivo do equipamento.

Além disso, a máquina destina-se a operação de um usuário projetista, desenhista ou técnico com habilidades em projetos em CAD e, ainda, destina-se a artistas que trabalhem com desenhos vetorizados (que possam ser convertidos em arquivos compatíveis com o padrão CAD).

5.3. Identificação de fabricantes

No mercado, há diversos fabricantes de equipamentos similares através da venda de peças a partir de kits de montagem ou através da venda de equipamentos já montados. A diretiva do projeto, devido a necessidade de manter um custo reduzido, utiliza as interfaces eletrônicas disponíveis no mercado e conduz à seleção dos materiais e produtos que constituirão o sistema, projetando a parte mecânica do equipamento conforme a necessidade do projeto.

5.4. Pesquisa de normas e legislação

O site da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) foi utilizado para a pesquisa das normas regulamentadoras, com as seguintes palavras-chave: corte de chapas, plasma, corte a plasma e corte a gás. Durante a pesquisa, foram encontradas diversas normas regulamentadoras referentes ao projeto e ao corte de peças e de configurações de equipamentos de corte. As normas mais relevantes estão listadas abaixo:

ISO 4850 Personal eye-protectors for welding and related techniques — Filters — Utilisation and transmittance requirements

ISO 7287 Graphical symbols for thermal cutting equipment

ISO 9013 Thermal cutting — Classification of thermal cuts — Geometrical product specification and quality tolerances

ISO 17652-3 Welding — Test for shop primers in relation to welding and allied processes— Part 3: Thermal cutting

ISO 17658 Welding — Imperfections in oxyfuel flame cuts, laser beam cuts and plasma cuts — Terminology

NBR ISO 5175 Equipamentos usados em processos de solda e corte a gás e em processos afins - Dispositivos de segurança para gases combustíveis e oxigênio ou ar comprimido - Especificações gerais, requisitos e ensaios

NBR 13196 Manômetros para gases comprimidos utilizados em solda, corte e processos afins

NBR 14250 Reguladores de pressão para cilindros de gases usados em solda, corte e processos afins - Requisitos e métodos de ensaio

NBR 15318 Maçaricos manuais para solda, corte e aquecimento - Especificações e ensaios.

5.5. Pesquisa bibliográfica e patentes

Foi utilizado o site de pesquisa do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial – www.pesquisa.inpi.gov.br), para procurar, através da utilização de palavras chave, por patentes que venham a existir e que se relacionem de alguma maneira ao produto desenvolvido na etapa de Projeto Conceitual. Como palavras-chave, foram usados os seguintes termos: corte de metais, plasma, corte plasma, As expressões utilizadas acima, foram aplicadas para que fosse efetuada a busca nos títulos e nos resumos das patentes constantes no site do INPI.

Como resultado dessa pesquisa, foi encontrada a Patente número PI0605513-3 – MAÇARICO A ARCO DE PLASMA E METODO DE MONTAGEM E DESMONTAGEM DE UM MAÇARICO A ARCO DE PLASMA, existente no banco de dados do INPI desde 2006, entretanto não entra em conflito com a idéia do Projeto Conceitual. Além dessa patente, foram encontradas patentes de máquinas geradoras de plasma, peças de componentes para maçaricos de plasma, mas essas patentes também não indicam dualidade (plena similaridade) de conceitos com o produto que está sendo desenvolvido.

6. PROJETO INFORMACIONAL

6.1. Formulação do problema

Realizar o corte ou separação de uma chapa metálica para produção de peças acabadas ou semi-acabadas, para uso na criação e validação de protótipos (elementos de máquinas, perfis estruturais, etc), em projeto arquitetônico (letreiros, painéis e elementos decorativos) ou para uso artístico (obras de arte, desenho em relevo no metal, etc).

6.2. Viabilidade

É viável técnica, econômica e legalmente.

6.3. Usuário

Empresas que cortam chapas para consumo próprio (projetistas, desenhistas ou técnicos com habilidades em projetos em CAD), artistas e profissionais autônomos no ramo de

engenharia e arquitetura, principalmente em engenharia de produto e na produção de peças ornamentais.

6.4. **Previsão de produção**

Sob encomenda de acordo com a necessidade do cliente.

6.5. **Normas**

NBR ISO 5175 Equipamentos usados em processos de solda e corte a gás e em processos afins - Dispositivos de segurança para gases combustíveis e oxigênio ou ar comprimido - Especificações gerais, requisitos e ensaios

6.6. **Fabricantes**

Os possíveis fabricantes para o produto poderão fornecer chapas metálicas, componentes eletrônicos, fusos e castanhas, mancais e peças a serem usinadas, pequenos motores elétricos, perfis estruturais (já cortados e sem rebarba) e rolamentos.

7. GERAÇÃO DE CONCEITOS

Definição do projeto conceitual

Abaixo, algumas idéias iniciais para definição do projeto conceitual:

7.1. **Princípios físicos envolvidos**

Eletricidade, mecanicismos e engrenagens.

7.1.1. **Configuração física**

A Tecnologia e Sistema de corte utilizará um dos seguintes processos de corte disponíveis: Oxicorte (*Oxyfuel*), Plasma, Plasma Alta Definição (*Hi-Definition Plasma*), Laser e *WaterJet* (corte a água)

A Estrutura do Sistema pode ser Tipo "C", Pórtico Móvel ou Pórtico Fixo

Os Atuadores e o Sistema de Controle disponíveis analisados são os seguintes: Motor de Passo (*Step motor*), Motor CC com escovas, Motor CC *Brushless* e Motor CA (trifásicos).

O Sistema de Transmissão de Movimento possuirá uma das seguintes configurações: Polia e correia dentada, Pinhão e cremalheira, Fuso de Esferas e Fuso Trapezoidal.

Segue abaixo uma descrição de cada tipo de componente envolvido:

7.1.2. **Tecnologia e Sistema de Corte**

O Oxicorte (*Oxyfuel*) utiliza uma mistura de oxigênio e algum gás carburante (geralmente acetileno) para o corte de metais ferrosos através do fenômeno físico da oxidação catastrófica, em que o metal aquecido a uma certa temperatura (dependente da chama) em que a principal característica do metal aquecido é a cor vermelho rubro ocorrendo a oxidação e, conseqüentemente, o corte do metal.

O corte a plasma é uma alternativa ao corte a LASER, pois este apresenta alto custo (devido à vida útil limitada do cabeçote - fonte, gás, laser). No corte a plasma, a precisão e o acabamento de corte não são tão críticos, substituindo ou pelo menos diminuindo o uso do LASER, disponibilizando o equipamento de corte a LASER para produção de peças/ produtos com alto valor agregado (alta precisão dimensional e acabamento superficial) utilizando o corte a plasma para peças menos críticas, porém mantendo em bom acabamento e estabilidade dimensional.

O corte a Plasma de Alta Definição (*Hi-Definition Plasma*) é um método de corte de metais intermediário entre o Plasma convencional e o LASER. Essa tecnologia permite obter bordas mais definidas e menos distorcidas geometricamente que no processo de corte Plasma convencional (standard), aumentando a precisão do processo de corte, eliminando ou minimizando etapas posteriores de usinagem e ajuste dimensional da peça obtida.

O corte a LASER é utilizado para produção de peças ou produtos com alto valor agregado (alta precisão dimensional e acabamento superficial) caracterizando-se por um feixe luminoso de alta energia que vaporiza o metal ocasionando o seu corte. Podem ser dispositivos de estado sólido como Laser diodo (de vida útil limitada) ou laser de CO₂ de maior potência porém de maior custo.

O *WaterJet* (corte a água) é o método de corte que abrange a maior quantidade de materiais inclusive cerâmicos (pedras: granito, mármore, etc) e polímeros, pode (aliado a materiais abrasivos adicionados ao seu jato de água a alta pressão) possibilitar o corte de metais, porém devido ao alto custo do sistema de bombeamento a alta pressão não é o melhor método para o corte de metais a não ser que necessite eliminar ou minimizar a ZAC (zona afetada pelo calor), distorção térmica e tensões residuais.

7.1.3. Estrutura do Sistema

A estrutura tipo "C" é a mais robusta apresentando uma estrutura rígida, porém devido às suas características apresenta pouco curso ou amplitude de deslocamento da mesa coordenada. Geralmente esse tipo de estrutura encontra-se em fresadoras ferramenteiras e furadeiras de bancada utilizadas em usinagem de aço e outros metais de alta dureza sendo as forças devido a usinagem desses materiais o que caracteriza a escolha dessa estrutura não sendo necessário ao presente projeto, pois os esforços são menores e o objetivo é o ganho em deslocamento e amplitude da mesa.

O Pórtico Móvel apresenta uma ampla liberdade de deslocamento tirando o máximo proveito do curso da mesa em relação aos seus eixos. A estrutura deve ser reforçada de modo a aumentar a rigidez devido ao deslocamento do pórtico sendo esse procedimento crítico, pois pode aumentar o peso ou mudar o centro de massa ou gravidade de maneira negativa. Em geral é a melhor estrutura para médias e grandes dimensões das peças.

O Pórtico Fixo é uma estrutura que aproveita-se das características da rigidez do pórtico associado a um deslocamento da mesa por esteira rolante característico de produção contínua de peças. Apresenta alto custo associado ao deslocamento da mesa ou perda em relação às limitações dimensionais da mesa quando não se utiliza de esteiras rolantes.

7.1.4. Atuadores e Sistema de controle

O Motor de Passo (*step motor*) funciona a partir de passos geralmente 200 passos (passo cheio- *FULL STEP*) girando 1,8° criando um acionamento de forma precisa com alta repetibilidade. O acionamento se dá através de um *driver* com 2(dois) sinais de controle *step* e *dir* (passo e direção/sentido de giro). O circuito de acionamento é complexo e de custo considerável. É uma alternativa para evitar o uso de motores com *encoder* acoplado (servomotores).

O Motor CC com escovas é um motor comum de corrente contínua com alta rotação e baixo torque. Apresenta baixo custo, seu acionamento é simples, porém não tem um controle de velocidade preciso. Acoplado a um *encoder* (circuito fechado- *closed loop* uso de realimentação) transforma-se em um servomotor.

O Motor CC *Brushless* é um motor com um enrolamento de bobinas diferente do usual, geralmente controlado por um *driver* microcontrolado com acionamento por PWM o que encarece o seu uso. Possui torque elevado, uma eficiência considerável, torque constante em relação à sua

velocidade obtido pelo controle por PWM. Acoplado a um *encoder* (circuito fechado- *closed loop* uso de realimentação) transforma-se em um servomotor.

O Motor CA é um motor com alta eficiência energética e torque considerável em relação à faixa de velocidades se comparado com motores da mesma categoria além de menores dimensões. Pode ser controlado diretamente pela rede elétrica. Para controle da velocidade deve ser utilizado conjuntamente com um inversor de frequência o que encarece seu uso. Para acionamento preciso além do inversor de frequência deve ser acoplado a um *encoder* (circuito fechado- *closed loop* uso de realimentação) transformando-se em um servomotor.

7.1.5. Sistema de Transmissão de Movimento

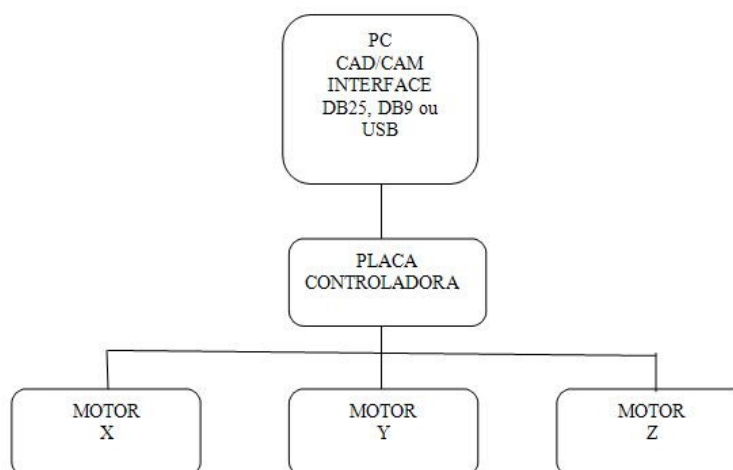
A Polia e a correia dentada transmitem o movimento rotativo do motor para uma cinta presa a um carro acoplado a guias deslizantes.

O Pinhão e a cremalheira transformam o movimento rotativo da engrenagem acoplada em movimento translacional deslocando o respectivo eixo da máquina.

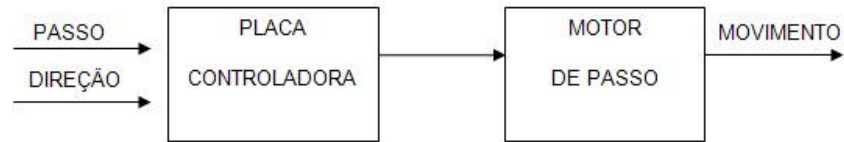
O Fuso de Esferas possui a característica principal de deslizar as esferas em suas ranhuras de modo a maximizar o contato com as esferas que são deslocadas juntamente com a castanha que geralmente é uma castanha recirculante ocasionando um alto rendimento e alta eficiência energética na transmissão do movimento, com eficiência η entre 0,8 e 0,95 conforme figura B1 no apêndice II. Quando montado com castanha dupla permite eliminar a folga axial (folga axial zero) através de uma pré-carga.

O Fuso Trapezoidal consiste na transmissão do movimento a partir de uma bucha ou castanha com rosca no formato do fuso que possui a seção transversal de seus dentes ou filetes no formato de um trapézio (também chamado rosca ACME) o que melhora o movimento e a transmissão da carga. A castanha é feita de algum metal de menor dureza como o bronze ou latão para diminuir o atrito com o aço do fuso trapezoidal

7.1.5.1. Configuração funcional



7.1.5.2. Malha de Controle:



O Sistema funciona em Malha Aberta, portanto as dimensões da peça obtida serão conhecidas somente após o término da operação não existindo instrumentos de medida (transdutores) para monitorar a posição da peça ou da Tocha. O Sistema possui um Motor de Passo associado para cada Eixo correspondente, totalizando 3 (três) motores movimentando-se simultaneamente ou intercalados conforme a direção e o sentido do movimento, sendo que o eixo Z é somente para ajuste da altura da Tocha.

7.2. Seleção de conceito

O presente trabalho utiliza a Casa da Qualidade na seleção de conceitos onde se identificam as características de maior relevância na configuração do produto. Sendo assim, após enumeradas as possíveis configurações para a fabricação do equipamento, foram atribuídas notas a diversos critérios de seleção, o que permitiu montar uma Matriz de Decisão de conceito para cada sistema avaliado, na qual a relação entre peso e nota de cada critério fornece uma visão mais precisa dos processos. Neste caso foram criadas 4 matrizes para definir os conceitos de tecnologia de corte de metais, estrutura base, atuadores e sistema de transmissão de movimento. As notas foram estipuladas pelo próprio projetista e o critério para as mesmas foi que o melhor dos conceitos para cada item em questão teria nota 10 (dez).

A matriz de decisão é uma ferramenta de apoio a seleção do conceito, servindo apenas como indicador de classificação dos conceitos num *ranking*. Entretanto é importante destacar que outros fatores subjetivos irrelevantes em algumas circunstâncias devem ser analisados e interpretados pelo projetista com base na sua experiência e intuição. Em etapa posterior do projeto prevê-se a construção do protótipo e modelos para validação final do projeto.

A Tabela 7.1 foi montada visando escolher a melhor tecnologia e sistema de corte de metais e abrangendo a maior quantidade (variedade) de matéria prima possível (Possibilidade de cortar metais variados), teve peso 3 (três). Considera-se a precisão do corte/acabamento superficial e a velocidade de corte/produtividade ambos com peso 2 (dois), espessura máxima/profundidade máxima de corte, peso 1 (um); a periculosidade do processo (risco de explosão, contaminação, radiação emitida, etc) e a menor ZAC (Zona Afetada pelo Calor), ambos peso 2 (dois). O custo do processo (aquisição do equipamento, desgaste das peças, consumo de gases e consumo de energia) teve peso 3 (três).

Tabela 7.1 - Tecnologia e Sistema de Corte

TECNOLOGIA E SISTEMA DE CORTE	Peso	Nota				
		Oxicorte (Oxyfuel)	Plasma	Plasma Alta Definição	Laser	WaterJet
Precisão do corte/ Acabamento Superficial	2	3	5	7	10	5
Espessura máxima/ Profundidade máxima de corte	1	10	7	5	3	3
Velocidade de Corte/ Produtividade	2	7	10	7	3	5
Possibilidade de cortar metais variados	3	1	10	10	10	5
Periculosidade do processo	2	1	7	7	7	10
Menor ZAC (Zona Afetada pelo Calor)	2	3	5	7	10	10
Custo do processo	3	10	7	5	3	2
Total		71	112	106	102	84

A Tabela 7.2 foi montada com o objetivo de encontrar a melhor solução em relação ao tipo de estrutura base. Devido às dimensões das chapas de material a serem cortados terem grande influência, as dimensões da estrutura necessária para obter uma grande área útil equivalente e o custo sendo diretamente proporcional à quantidade de material utilizado na estrutura, foram considerados com peso 3 (três). A facilidade de produção e resistência à deformação foram consideradas peso 1 (um) e 2 (dois), respectivamente.

Tabela 7.2 – Estrutura

ESTRUTURA DO SISTEMA	Peso	Nota		
		Tipo "C"	Pórtico Móvel	Pórtico Fixo
Dimensões	3	3	10	5
Custo	3	3	5	7
Facilidade de Produção	1	7	7	10
Resistência à deformação	2	8	5	7
Total		41	62	60

A Tabela 7.3 foi utilizada para escolher o tipo de atuador que será utilizado no projeto considerando todo o sistema de atuação: motor e respectivo *driver* de controle/placa controladora. A complexidade do sistema, o custo dos motores e sistema de controle tiveram peso 3 (três). O torque necessário para movimentação foi avaliado como peso 2 (dois), não sendo crítico nesse processo devido ao corte não decorrer de processo mecânico (usinagem), pois o corte deriva de um processo de transferência de energia (predominantemente na forma de energia térmica), não gerando grandes esforços para o atuador durante o processo de corte da peça. A velocidade de avanço e de resposta do sistema também foi avaliada como peso 2 (dois).

A precisão e o controle do posicionamento em baixas velocidades necessários no corte de materiais mais espessos (em que existe a redução da velocidade de avanço) foi avaliado como peso 3 (três). O consumo de energia (eficiência energética para transformar a energia elétrica em movimento) teve peso 1 (um). Não foi considerada a possibilidade de uso de atuadores pneumáticos ou hidráulicos por exigirem equipamento auxiliar de acumulação de energia, ferindo os critérios propostos nos objetivos iniciais deste trabalho.

Tabela 7.3 - Atuadores e Sistema De Controle

ATUADORES E SISTEMA DE CONTROLE	Peso	Nota			
		Motor de Passo (Step motor)	SERVOMOTORES		
			Motor CC com escovas	Motor CC Brushless	Motor CA (trifásicos)
Complexidade do sistema de controle	3	10	7	5	3
Torque	2	3	5	7	10
Velocidade de avanço e de resposta do sistema	2	3	5	7	7
Precisão e controle de posicionamento em baixas velocidades de avanço	3	7	3	5	7
Custo dos motores e sistema de controle	3	10	7	5	3
Consumo de energia/ eficiência energética	1	5	3	7	10
Total		98	74	80	83

A escolha do sistema de transmissão de movimento mais adequado ao projeto foi feita utilizando a matriz de decisão da Tabela 7.4. Devido ao objetivo do equipamento de apresentar um custo abaixo dos equipamentos similares no mercado, esse item teve peso 3 (três). A precisão/folgas na transmissão do movimento devido à sua importância na precisão foi considerado como peso 3 (três). O desgaste/durabilidade do sistema foi tido como peso 2 (dois).

Tabela 7.4 - Sistema De Transmissão De Movimento

SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO	Peso	Nota			
		Polia e correia dentada	Pinhão e cremalheira	Fuso de Esferas	Fuso Trapezoidal
Precisão/Folgas no sistema	3	7	5	10	7
Desgaste/Durabilidade	3	5	3	10	7
Custo	3	3	5	3	8
Total		40	36	69	66

Analisando cada matriz de decisão em separado, os três melhores conceitos selecionados para cada item do projeto da máquina cortadora de metais estão listados abaixo em ordem decrescente:

Tecnologia e sistema de corte:

A1- Plasma

A2- Plasma Alta Definição (*Hi-Definition Plasma*)

A3- Laser

Estrutura do sistema:

B1- Pórtico Móvel

B2- Pórtico Fixo

B3- Tipo "C"

Atuadores e sistema de controle:

C1- Motor de Passo (*Step motor*)

C2- Motor CA

C3- Motor CC *Brushless*

Sistema de Transmissão de Movimento:

D1- Fuso Trapezoidal

D2- Fuso de Esferas

D3 Polia e correia dentada

Portanto, o conjunto escolhido de maneira a adequar-se ao objetivo do projeto será:

- Corte a Plasma
- Pórtico Móvel
- Motor de Passo
- Fuso de Esferas

7.3. Detalhamento do conceito

O equipamento possui uma área útil de 2000 X 1000mm suportando chapas de até 10 mm de espessura, ou 3/8 polegada de aço carbono, inox ou alumínio. Outros materiais metálicos podem ser cortados, porém há variação entre as propriedades e qualidade de corte gerado.

O controle do equipamento faz-se de modo a transmitir os comandos do microcomputador até os motores através de uma placa controladora que é facilmente encontrada no mercado. A cada placa é ligado um motor para cada eixo correspondente (X,Y e Z), sendo no total três motores de passo.

A máquina cortadora de metais funciona a partir de um arquivo compatível com softwares de CAD/CAM no qual um software específico transforma em linguagem *Gcode* (código G) o *toolpath* que é o caminho percorrido pela ferramenta de corte (no caso a tocha de corte à plasma).

O código gerado pelo software é interpretado e transformado em pulsos e sinais *STEP/DIR* (passo e direção) no motor de passo que executa a seqüência de passos (sinal *STEP*) até completar uma volta completa, ou, conforme a necessidade de posicionamento e direção (sinal *DIR*) que dá o sentido do giro do eixo do motor (horário ou anti-horário).

A combinação de movimentos no sentido horário ou anti-horário, e ainda a quantidade de passos nesse sentido é que determinam o movimento do motor de passo no respectivo eixo. A combinação da movimentação dos motores de passo correspondendo aos três eixos X,Y e Z (sendo o eixo Z correspondente à altura da tocha de plasma) e os eixos X e Y (posicionamento do pórtico móvel com a tocha/bico de corte no plano horizontal) executam o corte das peças.

O motor de passo é ligado diretamente ao fuso através de acoplamento, de modo a transmitir o movimento giratório do motor de passo ao fuso de esferas, que, por sua vez, desloca a castanha (com flange) acoplada ao carro da mesa, ou ao pórtico, em um dos respectivos eixos. A transmissão do giro do motor através do fuso e da castanha permite a transformação do movimento rotatório do fuso em deslocamento translacional. O conjunto carro, guias e rolamentos lineares utilizam as guias para dar sustentação e os rolamentos lineares para garantir que o movimento do carro naquele eixo seja predominantemente uniaxial.

O operador realizará a troca, ajuste e posicionamento da peça antes do corte automatizado.

7.3.1. Corte a Plasma

O plasma consiste em um gás altamente ionizado e eletricamente neutro, sendo o quarto estado da matéria, presente no arco criado pelos processos de corte térmico e soldagem. “O arco sofre constrição, forma o plasma e funde a peça, sendo que o próprio jato desse gás altamente ionizado remove o material por arraste, ou também é utilizado um gás auxiliar (muitas vezes oxidante)” [Machado, 1996]. As temperaturas alcançadas são da ordem de 25.000K sendo esse corte realizado por fusão obtendo pequena extensão da ZAC (zona afetada pelo calor), baixa deformação e alta qualidade.

“O início do arco geralmente é realizado através de uma centelha formada por um gerador de alta frequência, entre o eletrodo e o bocal, estabelecendo o chamado arco piloto. Posicionando a tocha suficientemente perto da peça, forma-se um arco entre o eletrodo e a mesma. O arco é

então constrangido e o plasma expandido é lançado em alta velocidade contra a superfície da peça” [Machado, 1996].

O Processo de Corte a Plasma foi escolhido devido à possibilidade de corte de metais ferrosos e não ferrosos e à quantidade de fontes de corte a plasma de várias potências existentes no mercado, sendo escolhida conforme a necessidade do usuário ou projeto.

A profundidade de corte, espessura e acabamento serão determinados pela fonte de plasma, a qual possui as características que permitem o corte de chapas na espessura determinada pelo projeto, no caso 10mm. Essa característica está ligada a limitações dimensionais que estão relacionadas à tecnologia da fonte de plasma, pois a corrente da fonte é o fator que determina a espessura e a profundidade máxima de corte e ainda o custo que aumenta conforme o aumento da corrente e, conseqüentemente, aumento da potência da fonte.

O equipamento escolhido para o Corte a Plasma é um equipamento da marca *Hypertherm* modelo *PowerMax 45* sendo o ar (comprimido) utilizado como gás de orifício o qual apresenta uma boa velocidade de corte em relação ao aço carbono e ainda o gás mais econômico e abundante disponível. A tocha utilizada modelo T45m é uma tocha especialmente projetada para o corte mecanizado, possuindo uma chave de partida remota e consumíveis específicos. As especificações da Fonte de Plasma *PowerMax 45* e as Tabelas de Corte com recomendações para o corte de aço carbono, aço inox e alumínio estão no Anexo I [Hypertherm, 2009].

7.3.2. Estrutura Pórtico Móvel

A Estrutura de Pórtico Móvel foi escolhida de modo a possibilitar o corte de chapas com mais de 1 metro de comprimento, aproveitando-se o máximo curso oferecido pelo equipamento, sendo utilizados perfis de alumínio extrudado juntamente com chapas de alumínio de 20mm de espessura da liga 5083F utilizada para moldes e protótipos. As especificações do Perfil de Alumínio estão no Anexo II [Kanya, 2009].

Foram utilizados perfis de alumínio liga 6063 extrudado (T66 *temper-hardned* (F25) seguindo a norma DIN EM 755) devido à facilidade de montagem e encaixe entre os perfis, além da resistência a corrosão e menor peso em relação ao aço. As características da seção dos perfis utilizados estão apresentadas abaixo:

O perfil utilizado é da marca Kanya a qual possui diversos acessórios incluindo conectores de conexões rápidas entre perfis.

Os perfis serão adquiridos já cortados e os encaixes dos conectores especificados de acordo com o fabricante, sendo realizada somente a montagem dos perfis seguindo as recomendações do fabricante em relação ao número de conexões e torque de aperto dos conectores.

O gráfico mostrando o Torque de Aperto (*Tightening torque*) da conexão rápida em relação a Tensão Cisalhante que atua na extremidade do perfil encontra-se no Anexo II.

O ponto crítico da estrutura é o perfil onde localizam-se os mancais de suporte do eixo X, no caso suporta 680N de carga, sendo utilizado 2 conectores PVS no perfil 40 x 80 o torque de aperto será de 11Nm, obtendo um torque de aperto relativo à Pró-tensão igual a 2,9 vezes a carga estática devido a carga suportada pela conexão ser igual a 2kN compensando os esforços durante a movimentação do equipamento.

O coeficiente de segurança obtido dessa forma é:

$$CS = 2000N/680N = 2,9 \quad (7.1)$$

O torque no gráfico para perfil 40x40 (um conector) e perfil 40x80 (dois conectores) é de 11Nm sendo o torque de aperto utilizado nas conexões entre perfis.

7.3.3. Motor de Passo

O Motor de Passo foi escolhido devido ao fato de seu mecanismo de controle necessitar de apenas dois sinais de controle step e dir (passo e direção) e o posicionamento (mantido o limite de torque do motor) ser preciso, dispensando o uso de encoder, o que diminui o custo desse motor em relação a um servomotor com encoder óptico. As especificações dos motores, juntamente com suas respectivas Curvas de Torque estão no Anexo III [Kalatec, 2009].

7.3.4. Fuso de Esferas

O Fuso de Esferas foi escolhido devido à rigidez mínima necessária para a movimentação e ainda pela possibilidade de utilizar a castanha para diminuir o atrito com o aço do fuso, além de permitir a imposição de uma pré-carga que retira a folga do fuso. As especificações do Fuso de Esferas estão no Anexo IV [Egroj, 2009].

7.3.5. Guias Lineares

No sistema de translação foram utilizadas guias lineares circulares de aço 1045 retificadas e temperadas sendo facilmente encontrada no mercado. O carro das guias é composto por mancais (*Pillow Blocks*) que consistem em rolamentos lineares montados em mancais de alumínio projetados conforme o diâmetro do conjunto guia e rolamento linear e com a extensão de acordo com o comprimento do rolamento linear. As tolerâncias para a guia e os rolamentos são de 0,01 mm no diâmetro.

7.3.6. Lista de Custo

A Lista de Custo detalhada consta no Apêndice III.

Os custos de montagem se devem a conexão dos perfis de alumínio, montagem das guias lineares e fuso de esferas nos mancais e o aparafusamento dos *pillow blocks* na mesa do respectivo eixo. O custo de fabricação de chapas se deve as chapas dispostas verticalmente encaixadas nos perfis que formam um espécie de grelha que da suporte às chapas a serem cortadas.

Função	Preço da mão de obra	Horas trabalhadas	Custo
Fabricação das chapas	R\$ 40,00/h	10h	R\$ 400,00
Montagem do Sistema	R\$ 40,00/h	40h	R\$ 1600,00
Total			R\$ 2000,00

Portanto o custo total do equipamento é de R\$ 22035.93.

CUSTO TOTAL	R\$ 22.035,93
-------------	---------------

As dimensões finais do equipamento são: 2556X1709X882mm.
O peso estimado é de 152 kg.

7.4. Projeto e construção do modelo

Para o projeto da máquina não será necessária a construção do modelo porque os maiores esforços são devidos ao peso próprio da estrutura na qual já utiliza-se um perfil modular e otimizado que permite mesmo após a montagem a adição de perfis adicionais ou cantoneiras de reforço que não estejam presentes no projeto original. A característica de a estrutura ser formada por perfis de alumínio extrudados aliados a chapas de alumínio aparafusadas permite a montagem e desmontagem, além de ajustes e reforços na estrutura que poderá ser utilizada para outros fins além do projeto original.

O custo do modelo também seria próximo ao custo do protótipo, portanto escolheu-se não construir um modelo.

A seguir estão apresentados o projeto conceitual da máquina cortadora de chapas, bem como os detalhes de construção e a configuração, conforme figuras 7.1 a 7.14:

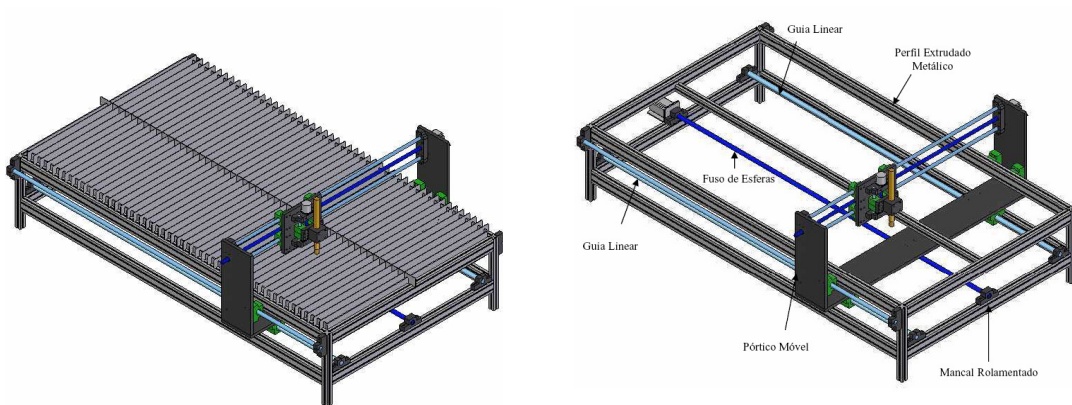


Figura 7.1 – Visão geral do Equipamento

Figura 7.2 – Estrutura do Equipamento

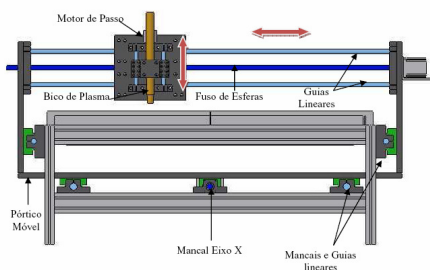


Figura 7.3 - Vista Frontal

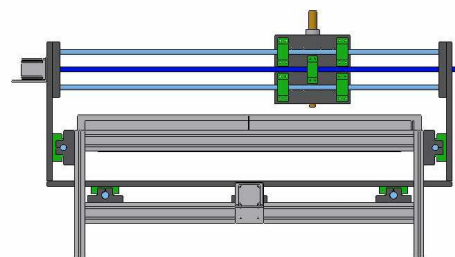


Figura 7.4 - Vista Posterior

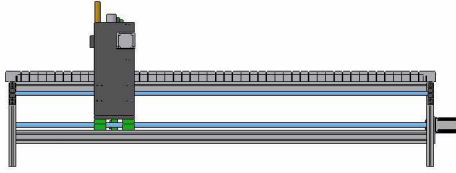


Figura 7.5 – Vista Lateral Direita

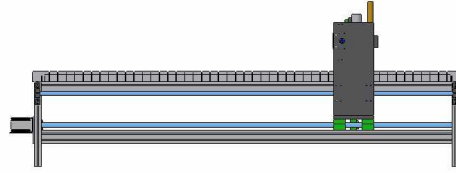


Figura 7.6 – Vista Lateral Esquerda

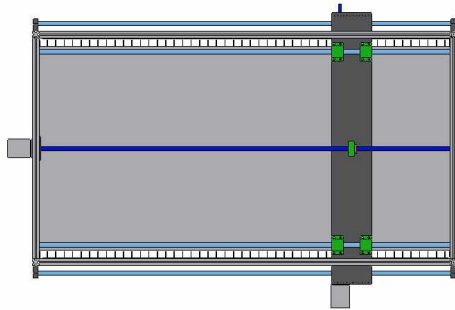


Figura 7.7 – Vista Superior

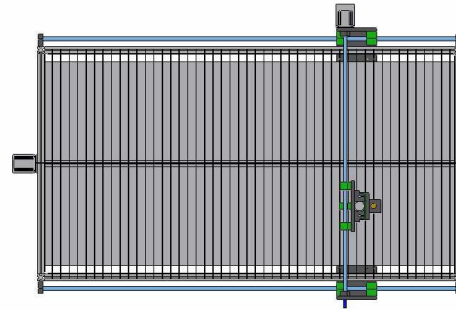


Figura 7.8 – Vista Inferior

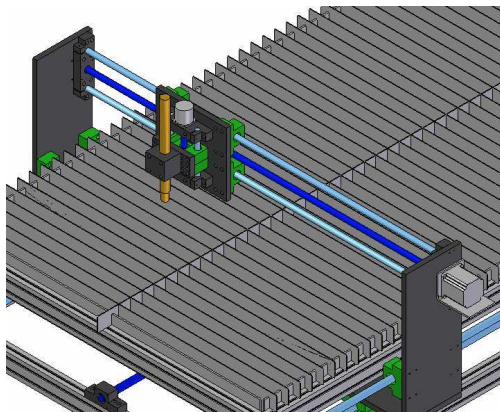


Figura 7.9 Suporte da Chapa

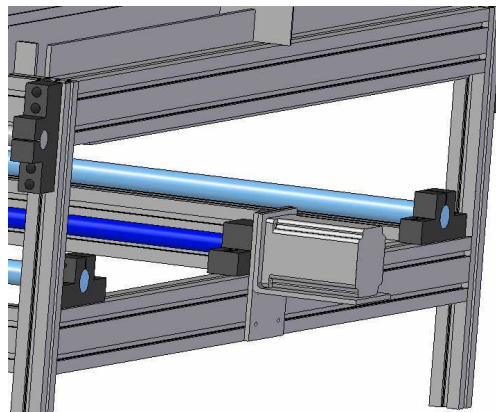


Figura 7.10 Suporte do motor Eixo X

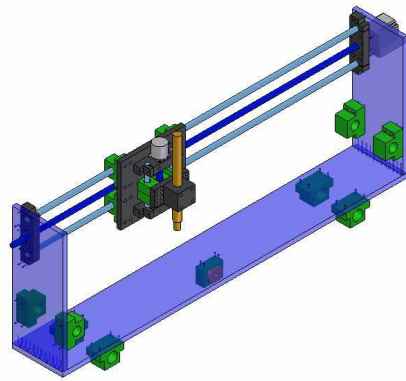


Figura 7.11 – Pórtico Móvel

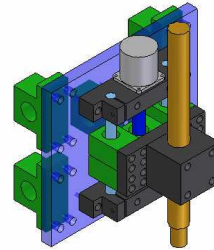


Figura 7.12 – Mesa Eixo Z

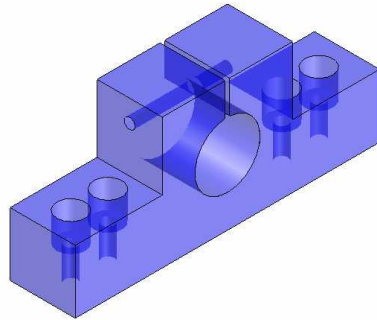


Figura 7.13 – Suporte Guia Linear

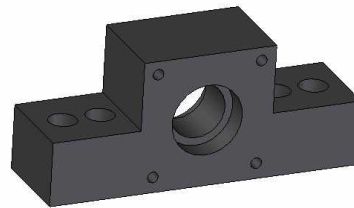


Figura 7.14 – Mancal Eixo X

7.5. Considerações finais sobre o equipamento

Este projeto utiliza alguns mecanismos já disponíveis individualmente no mercado, entretanto a inovação deste trabalho está em agrupar estes dispositivos em uma determinada configuração para que possa ser utilizado em uma nova aplicação.

A Máquina Cortadora de Chapas com estrutura de perfil modular é caracterizada por uma estrutura constituída por perfis estruturais modulares de material metálico de alta resistência ou similar de igual ou superior leveza e resistência, formas e disposições internas e externas que se integram a um microcomputador. O equipamento contém uma estrutura de chapas metálicas aparafusadas no formato de Pórtico Móvel rigidamente ligada a mancais de rolamentos que se movimentam³ sobre guias lineares presas a uma estrutura composta por uma forma de paralelepípedo constituído por perfis extrudados com ligações aparafusadas ou ligações com conectores rápidos (conectores universais de perfis) de modo a possibilitar a montagem, regulagem e desmontagem do equipamento.

8. CONCLUSÃO

Tendo completado todas as etapas antes descritas, pode-se considerar que os objetivos inicialmente propostos foram alcançados, seja no aprendizado metódico de projetos, seja na aplicação dos conceitos e ensinamentos recebidos ao longo do curso, incluindo-se aspectos estruturais, econômicos, assim como o conjunto de processos em que se baseou toda essa pesquisa inicial, a qual acredita-se que servirá de ponto de partida para a realização física do equipamento aqui proposto.

Após a configuração do equipamento percebe-se a adequada seleção dos materiais e conceitos envolvidos, proporcionando um equipamento leve, robusto e com custo acessível, permitindo a definição de um equipamento de qualidade, possibilitando atingir a próxima etapa de projeto que consiste no projeto executivo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br> - Acesso em: 25/08/2009 às 20h

AVOLIO, Edwin.; “**Sistemas de Controle de Movimento**”. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/~avolio> Acessado em 05/09/09

BACK, N.; “**Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**”. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BRALLA, J. et al.; “**Handbook of Product Design for Manufacturing**”. São Paulo: McGraw-Hill, 1996.

BAXTER, M.; “**Projeto de Produto - Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**”. São Paulo: Edgar Blucher, 2002.

COLLINS, J. A.; “**Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**”. Rio de Janeiro: LTC, 2006

DILLENBURG, D.; “**Projeto de uma Mini-fresadora CNC**”. 2007. 24 folhas. *Monografia* (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

GARRAT, J.; “**Design And Technology**”. Cambridge Press University , 1996.

INPI. ;Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Disponível em: <http://www.pesquisa.inpi.gov.br> - Acesso em: 25/08/2009 às 20h

JUVINALL, R. C. & MARSHEK, K. M.; “**Fundamentals of Machine Component Design**”. John Wiley and Sons, 1991.

MACHADO, Ivan Guerra.; “**Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**”. Porto Alegre: Editado Pelo Autor, 1996. 477 p.

NORTON, Robert L.; “**Machine Design**”. EUA: Prentice Hall, 1998.

PAHL, G. & BEITZ, W.; “**Projeto na Engenharia**”. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

SHIGHLEY, J. E. & MISCHKE, C. R.; “**Mechanical Engineering Design**”. 6th Ed. McGraw Hill, 2001.

CATÁLOGOS CONSULTADOS EM SITE

AUTOMATED CUTTING MACHINERY INC.; “**High Definition Plasma**” Disponível em: http://www.automated-cutting-machinery.com/high-definition-plasma-hpr260_840prod.html Acesso em 05/07/2009

DIRECT INDUSTRY.; “**Vertical Milling Machine**” Disponível em:
<http://www.directindustry.com/prod/correa-anayak/bridge-type-3-axis-vertical-milling-machine-9282-44766.html> Acesso em 05/07/2009.

EGROJ.; “**Catálogo de Fusos**” Disponível em: <http://www.egroj.com.br> - Acesso em: 19/09/2009 às 17h

HYPERTHERM.; “**Mechanized Plasma**” Disponível em:
[http://www.hypertherm.com/pt/Products_and_Services/Mechanized Plasma/Air Plasma/](http://www.hypertherm.com/pt/Products_and_Services/Mechanized_Plasma/Air_Plasma/) - Acesso em: 23/09/2009 às 16h

IMPERIO DOS METAIS.; “**Alumínio para Moldes**” Disponível em:
<http://www.imperiodosmetais.com.br/v3/aluminioMoldes.html> Acesso em: 21/10/2009 às 22h

KALATEC.; “**Catálogo Motores de Passo**” Disponível em: <http://www.kalatec.com.br> - Acesso em: 26/09/2009 às 19h

KANYA.; “**Perfis de Alumínio**” Disponível em: <http://www.kanya.com.br> - Acesso em: 2/10/2009 às 14h

LGV.; “**Corte a Laser**” Disponível em: <http://www.lgv.com.br/corteLaser.html> Acesso em 05/07/2009.

MISUMI EFA.; “**Linear Bushing**” Disponível em:
http://efa.misumi.jp/voice/US/pdf/ML_Bushing2.pdf - Acesso em: 03/11/2009 às 19h.

MISUMI EUROPE.; “**Ball Bearing**”
Disponível em: http://www.misumi-europe.com/www/pdf/eng/Catalogue/2803_2804.pdf - Acesso em: 03/11/2009 às 19h.

PAWATERJET.; “**Waterjet**” Disponível em: <http://pawaterjet.net/waterjet.jpg> Acesso em 05/07/2009.

RMCHAPAS.; “**Oxicorte**” Disponível em: http://www.rmchapas.com.br/images/img1_met.jpg Acesso em 05/07/2009.

TORCHMATE.; “**Corte a Plasma**” Disponível em: http://www.plasma-cutter.com/torch_cut_med.jpg Acesso em 05/07/2009.

WARD'S CORNER.; “**CNC Milling**” Disponível em:
http://wardscorner.net/images/ih_mill/cnc/before01.jpg . Acesso em 05/07/2009

ANEXOS

Anexo I- Fonte de Plasma

FONTE PLASMA POWERMAX 45

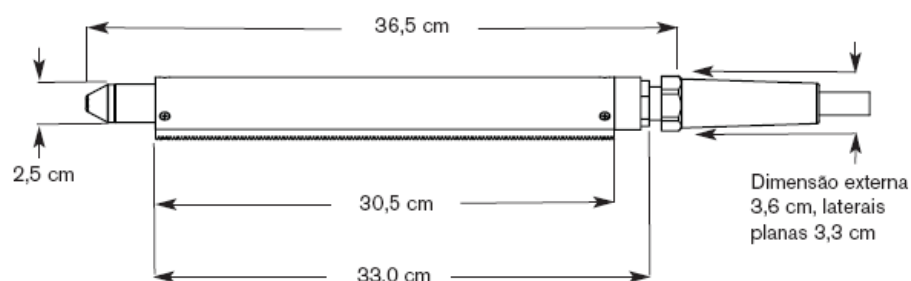


FICHA TÉCNICA

Tensão nominal de circuito aberto (U_0) CSA/CE, monofásico CE, trifásico	275 VCC	
Corrente nominal de saída (I_2)	20 A a 45 A	
Tensão nominal de saída (U_2)	132 VCC	
Ciclo de trabalho a 40° C (Ver a placa de dados na fonte plasma para mais informações sobre ciclo de trabalho.)	50% ($I_2=45$ A, $U_2=132$ V) 60% ($I_2=41$ A, $U_2=132$ V) 100% ($I_2=32$ A, $U_2=132$ V)	
Temperatura de operação	-10° a 40° C	
Temperatura de armazenamento	-25° a 55° C	
Fator de potência 200–240 V CSA, 230 V CE, monofásico 400 V, trifásico CE	0,99 0,94	
Tensão de entrada (U_1)/ Corrente de entrada (I_1) a saída nominal (U_2 MAX, I_2 MAX) (Ver <i>Configurações de tensão</i> , na Seção 3, para mais informações.)	200–240 V / 34–28 A (CSA) 230 V / 30 A (230 V CE)* 400 V 10 A (400 V CE)**	
Tipo de gás	AR	Nitrogênio
Qualidade do gás	Limpo, seco, isento de óleo de acordo com ISO 8573-1 Classe 1.2.2	99,995% puro
Fluxo e pressão de entrada de gás recomendados	170 l/min a 6,2 bar	

O equipamento possui uma tocha mecanizada específica para mesas de corte denominada T45m.

Dimensões da tocha T45m



Especificações das tochas T45v e T45m

Capacidade de corte manual (espessura do material)	
Capacidade de corte recomendada (corte manual)	12,7 mm (1/2 po.)
Máxima capacidade de corte (corte manual ou início pela borda mecanizado)	19,1 mm (3/4 po.)
Capacidade de separação (corte manual ou início pela borda mecanizado)	25,4 mm (1 po.)
Capacidade de perfuração mecanizada (espessura do material)	
Capacidade de perfuração (para cortes com início pela borda, as capacidades são as mesmas que as manuais)	9,5 mm (3/8 po.)
Velocidade de corte recomendada (em aço-carbono)	
6,35 mm (1/4 po.)	1524 mm/min (60 ppm)
9,53 mm (3/8 po.)	813 mm/min (32 ppm)
12 mm (1/2 po.)	508 mm/min (20 ppm)
18 mm (3/4 po.)	203 mm/min (8 ppm)
24 mm (1 po.)	102 mm/min (4 ppm)
Capacidade de goivagem	
Taxa de remoção de metal em aço-carbono	2,8 kg/hr
Peso	
Somente tocha T45v	0,27 kg
T45v com condutor de 6,1 m	1,55 kg
T45v com condutor de 15,24 m	3,54 kg
Somente tocha T45m	0,45 kg
T45m com condutor de 7,62 m	2,27 kg
T45m com condutor de 10,7 m	2,9 kg
T45m com condutor de 15,24 m	3,85 kg

No sistema mecanizado a Espessura Máxima de Corte por perfuração de aço carbono, aço inox e alumínio vai até 9,5mm (3/8 po.) de espessura devido a limitação de perfuração do corte mecanizado para o modelo POWERMAX 45. Os cortes iniciados pela borda possuem as mesmas capacidades que a tocha manual.

A Tocha mecanizada é ligada a partir de uma chave de partida remota (chave de partida remota de 7,62 m, 15,24 m ou 22,86 m de extensão) ou cabo de interface de máquina.

Para perfurar uma peça de trabalho usando a tocha mecanizada

As tabelas de corte incluem uma coluna com a altura recomendada da tocha ao iniciar uma perfuração. Para o Powermax45, a altura de perfuração normalmente é 2,5 vezes a altura de corte. Consulte as tabelas de corte para informações detalhadas.

O retardo de perfuração deve ser suficientemente longo para que o arco possa perfurar o material antes que a tocha se movimente, porém não tão longo que o arco “vagueie” sem direção enquanto tenta encontrar a borda de um grande furo.

Ao perfurar espessuras máximas, o anel de escória que se forma durante a perfuração pode se tornar alto o bastante para entrar em contato com a tocha quando a tocha começa a se movimentar, depois que a perfuração for concluída.

As tabelas de corte com a especificação de velocidade máxima de corte estão especificadas abaixo [Hypertherm,2009]:

Consumíveis protegidos T45m

Aço-carbono
Sistema métrico

Vazão do fluxo de AR (lpm)	
Quente	151
Frio	165,2

Corrente de arco (A)	Espessura do material (mm)	Distância da tocha à obra (mm)	Altura Inicial de perfuração		Retardo de tempo de perfuração (seg)	Recomendado		Máximo				
						Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)			
30	0,5	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	117	10160*	118			
	0,8					8650	116	10160*	117			
	0,9					8100	115	10160*	117			
	1,5					5650	111	7100	115			
45	0,9	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9652	115	10160*	112			
	1,5					8690	116	10160*	115			
	1,9				0,1	7100	117	9144	115			
	2,7				0,3	4600	117	6096	115			
	3,4				0,4	3550	117	4445	115			
	4,8				0,5	2150	116	2794	115			
	6,4				0,6	1500	120	1905	116			
	9,5				0,9	810	122	1016	116			
	12,7				Recomendado início pela borda				510	132	635	125
	15,9								280	136	356	127
	19,1								200	140	254	131
	25,4								100	146	127	142

*A velocidade máxima de corte é limitada pela velocidade máxima da mesa de teste (10160 mm/min).

Consumíveis protegidos T45m

Aço inoxidável
Sistema métrico

Vazão do fluxo de AR (lpm)	
Quente	151
Frio	165,2

Corrente de arco (A)	Espessura do material (mm)	Distância da tocha à obra (mm)	Altura inicial de perfuração		Retardo de tempo de perfuração (seg)	Recomendado		Máximo		
						Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)	
30	0,5	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	119	10160*	123	
	0,8					8650	117	10160*	121	
	0,9					8100	115	10160*	119	
	1,5					0,2	3750	113	4700	118
45	0,9	1,5	3,8 mm	250%	0,0	7800	112	10160*	109	
	1,5					8100	112	10160*	125	
	1,9					0,1	7100	118	9144	115
	2,7					0,3	4050	118	5080	116
	3,4				0,4	3050	121	3810	118	
	4,8				0,5	1780	122	2159	118	
	6,4				0,6	1100	124	1397	120	
	9,5				0,8	760	126	813	121	
	12,7				Recomendado início pela borda		350	132	457	128
	19,1				Recomendado início pela borda		175	136	229	131

*A velocidade máxima de corte é limitada pela velocidade máxima da mesa de teste (10160 mm/min).

Consumíveis protegidos T45m

Alumínio
Sistema métrico

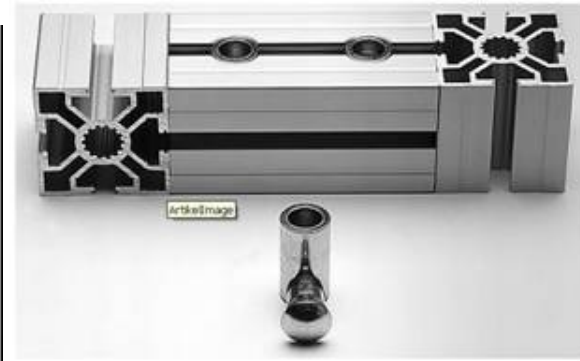
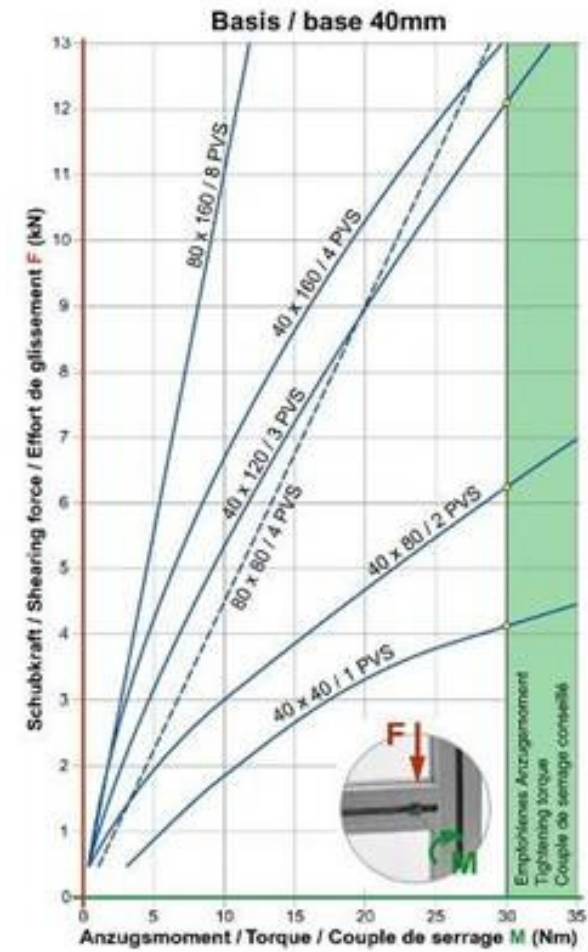
Vazão do fluxo de AR (lpm)	
Quente	151
Frio	165,2

Corrente de arco (A)	Espessura do material (mm)	Distância da tocha à obra (mm)	Altura inicial de perfuração		Retardo de tempo de perfuração (seg)	Recomendado		Máximo		
						Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão (V)	
30	1,2	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	117	10160*	120	
	1,5					8650	118	10160*	121	
	1,9					0,2	5450	118	6860	121
45	1,5	1,5	3,8 mm	250%	0,0	8100	112	10160*	125	
	1,9					7100	118	9144	115	
	2,7					4050	118	5080	116	
	3,4					0,1	3050	121	3810	118
	4,8				0,2	1780	122	2159	118	
	6,4				0,3	1100	124	1397	120	
	9,5				0,5	760	126	813	121	
	12,7				Recomendado início pela borda		350	132	457	128
	19,1				Recomendado início pela borda		175	136	229	131

*A velocidade máxima de corte é limitada pela velocidade máxima da mesa de teste (10160 mm/min).

Anexo II - Perfil de Alumínio Extrudado

Perfil de Alumínio Extrudado

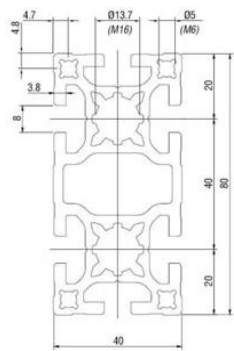


Technical data for aluminium extrusions:

Alloy	: 6063
Quality	: T66 temper-hardened (F25)
DIN designation	: DIN EN 755
Tolerances	: EN 12020-2
Density / weight	δ : 2.7 g/cm ³ Weight tolerance $\pm 10\%$
Tensile strength	R_m : min 245 N/mm ²
Yield	$R_{s0.2}$: min 200 N/mm ²
Elongation	A_5 : min 10 %
"	A_{10} : min 8 %
Modul of elasticity	E : 70 kN/mm ²
Brinell hardness	HB : ~75
Surface	: naturel matt anodised. Depth approx. 12 μ Colour anodised or powder coated in accordance with the RAL table, on request
Thermal expansion	: 0.0232 mm/m/°C

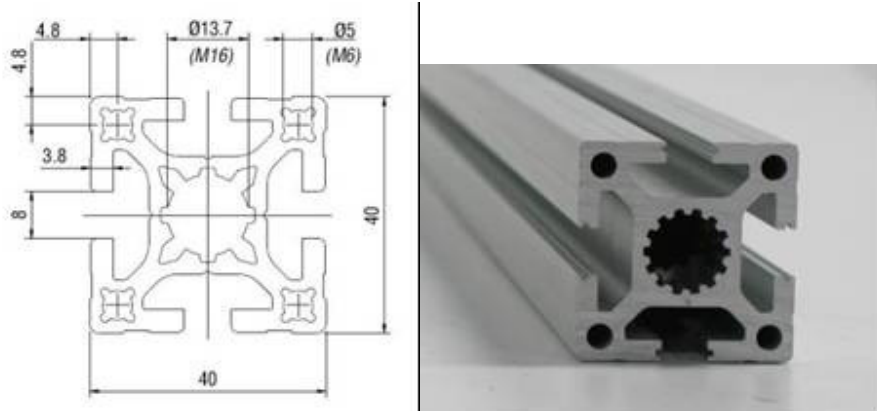
Fonte [Kanya, 2009]

PERFIL DE ALUMÍNIO 40X80 REFORÇADO



Peso Kg/m	I _{x,y} cm ⁴	W _{x,y} cm ³
3,50	84,48;24,62	22,23;12,30

PERFIL DE ALUMÍNIO 40X40 REFORÇADO



Fonte [Kanya, 2009]

Peso Kg/m	$I_{x,y}$ cm ⁴	$W_{x,y}$ cm ³
1,90	9,94	4,97

Anexo III - Motores de Passo

KALATEC AUTOMAÇÃO www.kalatec.com.br

MOTOR DE PASSO KML / NEMA 34

MODELO	TIPO DE CONECTOR	COMPRIMENTO (mm)	INDIC. TORQUE ESTÁTICO (N.m)	PCB	GRUP. (NEMA)	VOLTA	AMPS	CHIAS	rpm	PODER. MÁX. (W)	SECTOR P/PCB (º)
KML091F07	1	66,04	2,7	B	1,8	2,8	3,15	0,56	7,6	1400	1,8
	2		1,4			6,3	0,24	1,9			
	3		2,0			4,5	0,48	1,9			
KML092F07	1	96,01	6,0	B	1,8	3,92	3,15	1,32	12,0	2700	2,8
	2		1,98			6,3	0,33	3,0			
	3		2,8			4,5	0,66	3,0			
KML093F07	1	126	9,0	B	1,8	5,3	2,8	1,94	22,0	4000	3,9
	2		2,7			5,6	0,49	5,5			
	3		3,8			4,0	0,97	5,5			
KTC-HT34-487	1	156	13,0	B	1,8	4,8	4,5	1,08	9,6	4000	5,4
	2		2,4			9,0	0,27	2,4			
	3		3,4			6,3	0,54	2,4			

KALATEC KML091F07 MOTOR
Ligação Paralela
Dados: Cor: Mag. 1.175; Pos. 480; 2.2A/3.0V

KALATEC KML092F07 MOTOR
Ligação Paralela
Dados: Cor: Mag. 3.103; Pos. 480; 2.2A/3.0V

KALATEC KML093F07 MOTOR
Ligação Paralela
Dados: Cor: Mag. 1.175; Pos. 480; 2.2A/3.0V

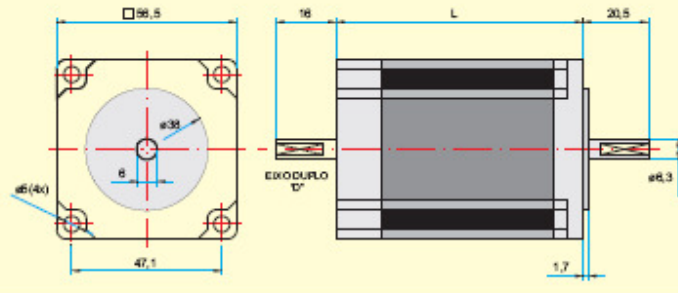
KALATEC KTC-HT34-487 MOTOR
Ligação Paralela
Dados: Cor: Mag. 3.103; Pos. 480; 2.2A/3.0V

LIGAÇÃO PARALELA

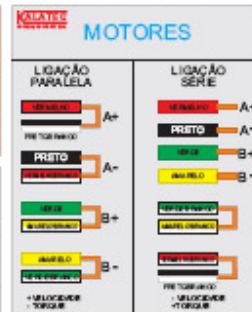
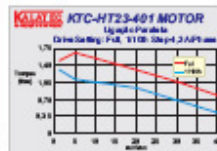
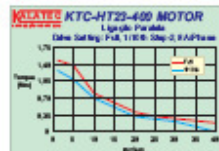
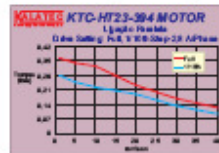
LIGAÇÃO SÉRIE

Fonte [Kalatec, 2009]

MOTOR DE PASSO KTC-HT23 / NEMA 23

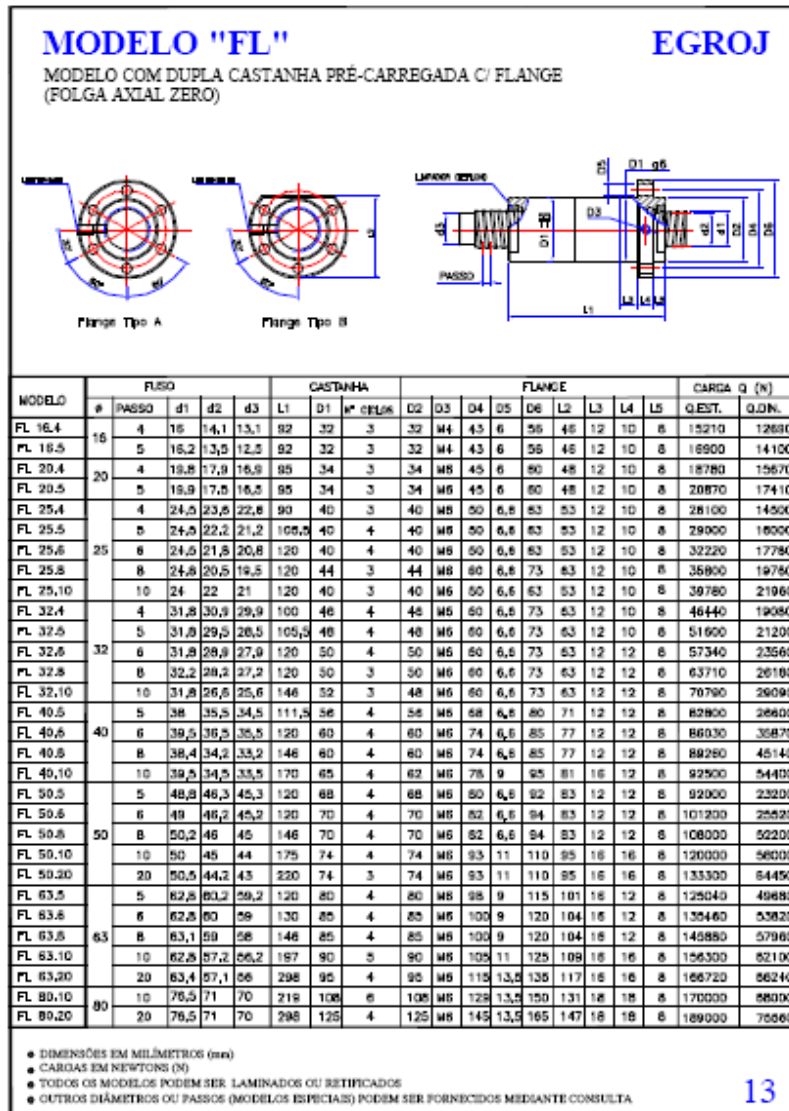


MODELO	LIGAÇÃO DO MOTOR (200STEP/REV. 1.8º)	COMPRIMENTO (mm)	RELAÇÃO TORQUE VELOCIDADE (N.M/ RPM)	PCB	DIAP. (MILÍMETRO)	VOLTA	AMP	OHM	mm	INDIC. ENERGIA (WATT)	MOTOR (PESO (KG))
KTC-HT23-384	1	40,6	0,54	B	1,8	4,0	1,41	2,8	5,6	120	0,45
	2		2,0			2,38	0,7	1,4			
	3		2,8			2,00	1,4	1,4			
KTC-HT23-387	1	59	1,25	B	1,8	5,1	1,41	3,6	10,0	300	0,69
	2		2,5			2,38	0,9	2,5			
	3		3,6			2,00	1,8	2,5			
KTC-HT23-400	1	76	1,86	B	1,8	6,4	1,41	4,5	14,4	480	1,00
	2		3,2			2,38	1,1	3,6			
	3		4,5			2,00	2,3	3,6			
KTC-HT23-401	1	76	1,86	B	1,8	4,2	2,12	2,0	6,4	480	1,00
	2		2,1			4,24	0,5	1,6			
	3		3,0			3,00	1,0	1,6			



Fonte [Kalatec, 2009]

Anexo IV – Fuso de Esferas



13

Fonte [Egroj, 2009]

Apêndice I -Definição do projeto conceitual



Figura A.1 Oxicorte (Oxyfuel)



Figura A.2 Plasma



Figura A.3 Plasma de Alta Definição



Figura A.4 LASER



Figura A.5 WaterJet



Figura A.6 Estrutura tipo "C"

Fonte: [Torchmate, 2009]

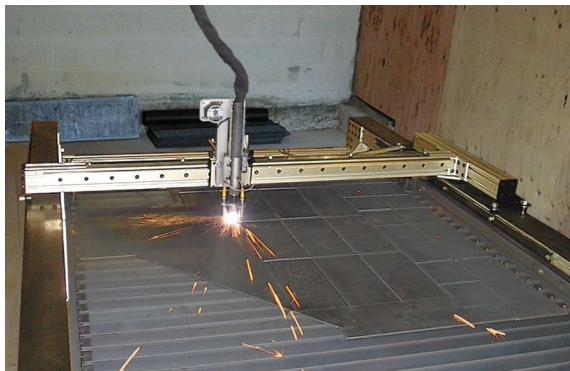


Figura A7 Pórtico Móvel



Figura A8 Pórtico Fixo



Figura A9 Motor de Passo



Figura A10 Servomotores CC com escovas



Figura A11 Servomotores CC Brushless



Figura A12 Servomotores CA (trifásicos)

Fonte: [Kalatec,2009]

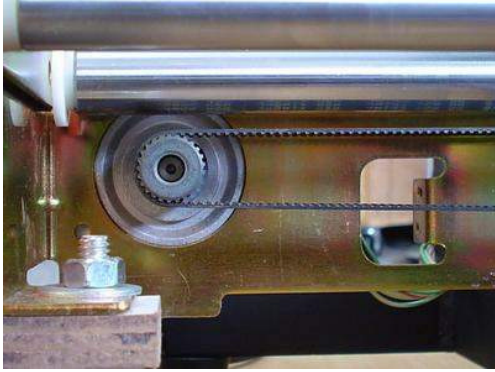


Figura A13 Polias e Correias Dentadas



Figura A14 Pinhão e Cremalheira



Figura A15 Fusos de Esferas

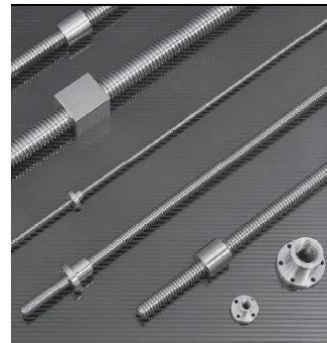


Figura A16 fuso trapezoidal

Apêndice II- Cálculo de Inércia nos Fusos de Esferas

MEMORIAL DE CÁLCULO

As equações a seguir referem-se ao torque do motor e sistema de transmissão de movimento necessário à aceleração das massas do sistema, sendo considerado o peso de cada mesa e conjunto de guias e mancais do eixo analisado.

A Inércia do Fuso de Esferas é dada por

$$J_{fuso} = (\pi/32) \cdot D^4 \cdot L \cdot \rho \quad (1.1)$$

Onde J_{fuso} é a inércia do fuso em kg m^2 , D o diâmetro do fuso em m, L o comprimento do fuso em m e ρ a densidade do material do fuso no caso aço 1045

A Inércia de Carga é dada por

$$J_{carga} = m \cdot (P_{fuso}/2\pi)^2 \quad (1.2)$$

Onde J_{carga} é a inércia da carga em kg m^2 , m a massa da carga, P_{fuso} o passo do fuso, J_T a inércia total em kg m^2

$$J_T = J_{fuso} + J_{carga} \quad (1.3)$$

Conjugado de carga referido ao eixo do motor

$$W = m \cdot g \quad (1.4)$$

Coefficiente de atrito do fuso: Será utilizado o valor máximo do coeficiente de atrito do fuso $\mu_{fuso} = 0,01$ conforme o gráfico considerado anteriormente.

$$F = W \cdot (\sin \alpha + \mu_{fuso} \cdot \cos \alpha) \quad (1.5)$$

Onde W é a força normal exercida pela massa da mesa em N, m a massa da carga em kg e g a aceleração da gravidade em m/s^2 , F a força exercida pela carga, α o ângulo exercido pela força e μ o coeficiente de atrito

Torque do conjugado da carga (T_c):

$$T_c = (F \cdot P_{fuso}) / (2\pi \cdot \eta) \cdot (1/i) \quad (1.6)$$

Onde η é o rendimento do fuso e sendo i a redução do fuso que no caso não há redução, logo $i=1$

$$N_{rotações} = \text{Deslocamento total} / \text{Passo do fuso} \quad (1.7)$$

Onde $N_{rotações}$ é o número de rotações

$$d_i = N_{rotações} \cdot (2\pi) \quad (1.8)$$

Onde d_i é o deslocamento em radianos

$$t_{reg} = t_{tot} - t_{acel} - t_{desacel} = t_{vel_cte} \quad (1.9)$$

Onde t_{reg} é o tempo em regime permanente, t_{tot} é o tempo total, t_{acel} é o tempo de aceleração, $t_{desacel}$ é o tempo de desaceleração, t_{vel_cte} o tempo na velocidade constante

$$\omega_{máx} = \theta_{tot} / ((t_{acel}/2 + t_{desacel}/2) + t_{reg}) \quad (1.10)$$

Onde $\omega_{máx}$ é a velocidade angular em rad/s, θ_{tot} o ângulo total percorrido em radianos

$$A_{acel} = \omega_{máx} / t_{acel} \quad (1.11)$$

Onde A_{acel} é a aceleração angular em rad/s^2

Torque requerido na aceleração do Sistema:

$$T_{acel} = T_{desacel} = (J_m + J_T) \cdot A_{acel} \quad (1.12)$$

$$T_{acel} = T_{desacel} \quad (1.13)$$

$$T = T_{acel} + T_c = \text{Torque requerido na Aceleração do Sistema} \quad (1.14)$$

Torque requerido na desaceleração do Sistema

$$T_{acel} = T_{desacel} = (J_m + J_T) \cdot A_{acel} \quad (1.15)$$

$$T_{acel} = T_{desacel} \quad (1.16)$$

$$T = T_{\text{acel}} - T_c = \text{Torque requerido na Desaceleração do Sistema} \tag{1.17}$$

Torque de Atrito na Guia Linear

$\mu_{\text{guia}} = 0,005$ Segundo o catálogo da empresa Misumi o coeficiente de atrito para rolamentos lineares, guias lineares e sistemas de translação em que o movimento é feito por esferas fica entre 0,002 e 0,006. O valor do atrito é utilizado de maneira conservadora considerando 0,005. O valor típico para rolamentos lineares fica em torno de 0,003

$$W = F_N = \tag{1.18}$$

$$T_{\text{atritoGuia}} = (P_{\text{fuso}} / 2\pi) \cdot \mu_{\text{guia}} \cdot (F_N) \tag{1.19}$$

Verificação do Torque máximo

$$T_{\text{acel}} + T_{\text{atritoGuia}} = \tag{1.20}$$

Verificação do Torque Efetivo (rms)

$$T_{\text{rms}} = [(T_{\text{acel_Sistema}} \cdot (t_{\text{acel}})^2 + T_c \cdot (t_{\text{vel_cte}})^2 + T_{\text{desacel_Sistema}} \cdot (t_{\text{desacel}})^2) / 2]^{1/2} \tag{1.21}$$

$$T_{\text{rms}} + T_{\text{atritoGuia}} = \tag{1.22}$$

Resolução = Passo do Fuso / N° de passos por volta do Motor =

Abaixo os cálculos referentes a Inércia do sistema:

Fuso de Esferas Eixo X

- **Peso do Conjunto Eixo X, $W = 78 \text{ kg}$**
- **Comprimento do fuso (L) $L = 2,5 \text{ m}$**
- **Diâmetro do fuso = $25\text{mm} = 0,025 \text{ m}$**
- **Passo do fuso = $5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,005\text{m}$**
- **Rendimento mecânico do fuso $\eta = 90\% = 0,9$**

- **Tempo de aceleração = $0,1 \text{ s}$**
- **Tempo de desaceleração = $0,1 \text{ s}$**
- **tempo de operação vel. cte = $0,8 \text{ s}$**
- **tempo do ciclo = 2 s**
- **Deslocamento = $0,1 \text{ m} = 100\text{mm}$**

O rendimento do Fuso de esferas é de até 90% conforme a especificação do fabricante.

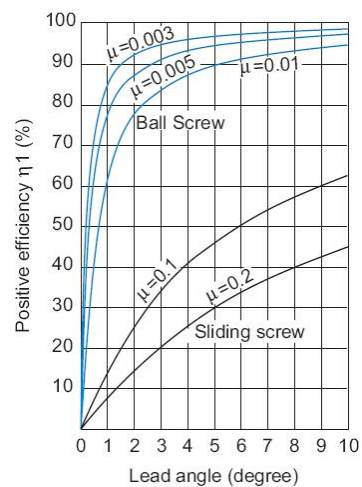
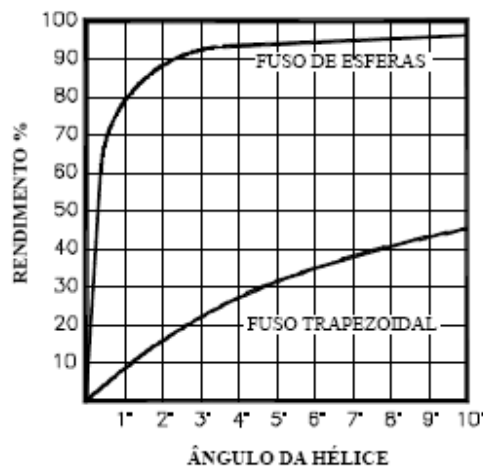
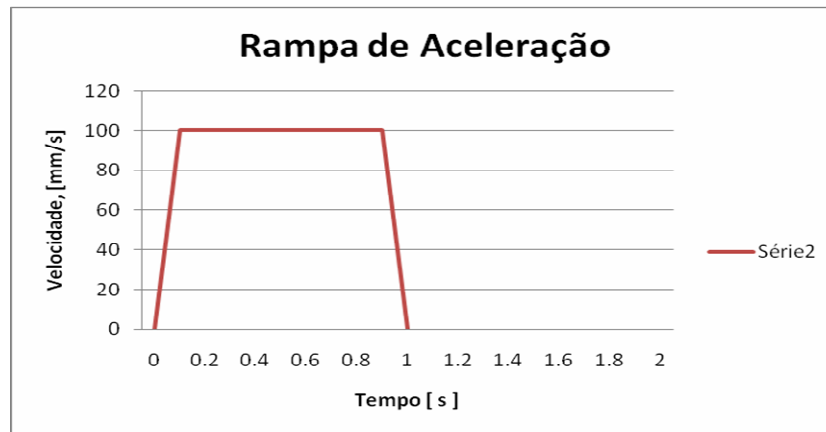


Figura B1 Rendimento Fusos de Esferas Figura B2 Coeficiente de Atrito
Fonte : Catálogo EGROJ

Abaixo a Rampa de Aceleração do sistema:



A Inércia do Fuso de Esferas é dada por

$$J_{\text{fuso}} = (\pi/32) \cdot D^4 \cdot L \cdot \rho = (\pi/32) \cdot (0,025\text{m})^4 \cdot 2,5\text{m} (7900\text{kg/m}^3) = 7,574 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 \quad (1.1)$$

Onde J_{fuso} é a inércia do fuso em kg m^2 , D o diâmetro do fuso em m, L o comprimento do fuso em m e ρ a densidade do material do fuso no caso aço 1045

A Inércia de Carga é dada por

$$J_{\text{carga}} = m \cdot (P_{\text{fuso}}/2\pi)^2 = 78\text{kg} \cdot (0,05\text{m} / 2\pi)^2 = 4,94 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 \quad (1.2)$$

Onde J_{carga} é a inércia da carga em kg m^2 , m a massa da carga, P_{fuso} o passo do fuso, J_T a inércia total em kg m^2

$$J_T = J_{\text{fuso}} + J_{\text{carga}} = 7,574 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 + 4,94 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 = 8,068 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 \quad (1.2)$$

$$J_T = 8,068 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Conjugado de carga referido ao eixo do motor

$$W = m \cdot g = 78\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 765 \text{ N}$$

Coefficiente de atrito do fuso: Será utilizado o valor máximo do coeficiente de atrito do fuso $\mu_{\text{fuso}} = 0,01$ conforme o gráfico considerado anteriormente.

$$F = W \cdot (\text{sen} \alpha + \mu_{\text{fuso}} \cdot \text{cos} \alpha) = 765 \text{ N} (0 + 0,1) = 76,5 \text{ N}$$

Onde W é a força normal exercida pela massa da mesa em N, m a massa da carga em kg e g a aceleração da gravidade em m/s^2 , F a força exercida pela carga, α o ângulo exercido pela força e μ o coeficiente de atrito

Torque do conjugado da carga (T_c):

$$T_c = ((F \cdot P_{\text{fuso}}) / (2\pi \cdot \eta)) \cdot (1/i) = ((76,5 \text{ N} \cdot 0,05 \text{ m}) / (2\pi \cdot 0,9)) \cdot (1/1) = 6,764 \cdot 10^{-2} \text{ N m}$$

Onde η é o rendimento do fuso e sendo i a redução do fuso que no caso não há redução, logo $i=1$

Deslocamento total $0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$

Passo do fuso = $0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm/rotação}$

$$N_{\text{rotações}} = 100 \text{ mm} / 5 \text{ mm} = 20 \text{ rotações} \quad d_i = 20 \cdot (2\pi) = 40\pi_{\text{rad}}$$

$$t_{\text{reg}} = t_{\text{tot}} - t_{\text{acel}} - t_{\text{desacel}} = t_{\text{vel_cte}}$$

$$\omega_{\text{máx}} = \theta_{\text{tot}} / ((t_{\text{acel}}/2 + t_{\text{desacel}}/2) + t_{\text{reg}}) = 40\pi / ((0,1/2 + 0,1/2) + 0,8) = 139,63 \text{ rad/s}$$

$$A_{\text{acel}} = \omega_{\text{máx}} / t_{\text{acel}} = 139,63 \text{ rad/s} / 0,1 \text{ s} = 1396,3 \text{ rad/s}^2$$

Torque requerido na aceleração do Sistema:

Motor Nema 34 modelo KML93F07

Inércia do motor: $J_m = 4000 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 = 4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (4 \cdot 10^{-4} + 8,068 \cdot 10^{-4}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 1,685 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 1,685 \text{ Nm}$$

$$T = T_{\text{acel}} + T_c = (1,685 + 6,764 \cdot 10^{-2}) \text{ Nm} = 1,753 \text{ Nm Torque requerido na Aceleração do Sistema}$$

Torque requerido na desaceleração do Sistema

Inércia do motor: $J_m = 4000 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 = 4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (4 \cdot 10^{-4} + 8,068 \cdot 10^{-4}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 1,685 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 1,685 \text{ Nm}$$

$$T = T_{\text{acel}} - T_c = (1,685 - 6,764 \cdot 10^{-2}) \text{ Nm} = 1,6174 \text{ Nm Torque requerido na Desaceleração do Sistema}$$

Torque de Atrito na Guia Linear

$\mu_{\text{guia}} = 0,005$ Segundo o catálogo da empresa Misumi o coeficiente de atrito para rolamentos lineares, guias lineares e sistemas de translação em que o movimento é feito por esferas fica entre 0,002 e 0,006. O valor do atrito é utilizado de maneira conservadora considerando 0,005. O valor típico para rolamentos lineares fica em torno de 0,003

$$W = F_N = 765 \text{ N}$$

$$T_{\text{atritoGuia}} = (P_{\text{fuso}}/2\pi) \cdot \mu_{\text{guia}} \cdot (F_N) = (0,05\text{m}/2\pi) \cdot 0,005 \cdot 765\text{N} = 0,030 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Verificação do Torque máximo

$$T_{\text{acel}} + T_{\text{atritoGuia}} = 1,685 \text{ Nm} + 0,030 \text{ N} \cdot \text{m} = 1,715 \text{ Nm} < T_{\text{máx}} = 5,6 \text{ Nm}$$

Verificação do Torque Efetivo (rms)

$$T_{\text{rms}} = [(T_{\text{acel_Sistema}} \cdot (t_{\text{acel}})^2 + T_{\text{c}} \cdot (t_{\text{vel_cte}})^2 + T_{\text{desacel_Sistema}} \cdot (t_{\text{desacel}})^2) / 2]^{1/2}$$

$$= [(1,753 \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2 + 6,764 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot (0,8\text{s})^2 + 1,6174 \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2) / 2]^{1/2}$$

$$T_{\text{rms}} + T_{\text{atritoGuia}} = 0,1962 \text{ Nm} + 0,030 \text{ N} \cdot \text{m} = 0,2262 \text{ Nm} < T_{\text{nom}} = 2,10 \text{ Nm}$$

Torque disponível acima do necessário

Resolução = 5mm/200passos por volta = 0,025mm por passo

Fuso de Esferas Eixo Y

- Peso do Conjunto Eixo Y, $W = 15 \text{ kg}$
- Comprimento do fuso (L) $L = 1650\text{mm} = 1,65 \text{ m}$
- Diâmetro do fuso = 20mm = 0,020 m
- Passo do fuso = 5mm = $5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,005\text{m}$
- Rendimento mecânico do fuso $\eta = 90\% = 0,9$

- Tempo de aceleração = 0,1 s
- Tempo de desaceleração = 0,1 s
- tempo de operação vel. cte = 0,8 s
- tempo do ciclo = 2 s
- Deslocamento = 0,1 m = 100mm

Inércia do Fuso de Esferas

$$J_{\text{fuso}} = (\pi/32) \cdot D^4 \cdot L \cdot \rho = (\pi/32) \cdot (0,020\text{m})^4 \cdot 1,65\text{m} \cdot (7900\text{kg/m}^3) = 2,0475 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Inércia de Carga

$$J_{\text{carga}} = m \cdot (P_{\text{fuso}}/2\pi)^2 = 15\text{kg} \cdot (0,05\text{m}/2\pi)^2 = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

$$J_T = J_{\text{fuso}} + J_{\text{carga}} = 2,0475 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2 + 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2 = 2,1425 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

$$J_T = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$$

Conjugado de carga referido ao eixo do motor

$$W = m \cdot g = 15\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 147 \text{ N}$$

Coefficiente de atrito do fuso: Será utilizado o valor máximo do coeficiente de atrito do fuso $\mu_{\text{fuso}} = 0,01$ conforme o gráfico considerado anteriormente.

$$F = W \cdot (\sin\alpha + \mu_{\text{fuso}} \cdot \cos\alpha) = 147 \text{ N} (0,01) = 14,7 \text{ N}$$

Torque do conjugado da carga (T_c):

$$T_c = ((F \cdot P_{\text{fuso}}) / (2\pi \cdot \eta)) \cdot (1/i) = ((14,7\text{N} \cdot 0,05\text{m}) / (2\pi \cdot 0,9)) \cdot (1/1) = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ N m}$$

Sendo i a redução do fuso que no caso não há redução, logo $i=1$

Deslocamento total $0,1\text{m} = 100\text{mm}$

Passo do fuso = $0,005\text{m} = 5\text{mm/rotação}$

$$N_{\text{rotações}} = 100\text{mm} / 5\text{mm} = 20 \text{ rotações} \quad d_t = 20 \cdot (2\pi) = 40\pi_{\text{rad}}$$

$$t_{\text{reg}} = t_{\text{tot}} - t_{\text{acel}} - t_{\text{desacel}} = t_{\text{vel_cte}}$$

$$\omega_{\text{máx}} = \theta_{\text{tot}} / ((t_{\text{acel}}/2 + t_{\text{desacel}}/2) + t_{\text{reg}}) = 40\pi / ((0,1/2 + 0,1/2) + 0,8) = 139,63 \text{ rad/s}$$

$$A_{\text{acel}} = \omega_{\text{máx}} / t_{\text{acel}} = 139,63 \text{ rad/s} / 0,1\text{s} = 1396,3 \text{ rad/s}^2$$

Torque requerido na aceleração do Sistema

Motor Nema 34 modelo KML92F07

Inércia do motor: $J_m = 2700\text{g} \cdot \text{cm}^2 = 2,7\text{kg} \cdot \text{cm}^2 = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (2,7 \cdot 10^{-4} + 2,1425 \cdot 10^{-4}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 0,676 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 0,676 \text{ Nm}$$

$$T = T_{\text{acel}} + T_c = (0,676 + 1,3 \cdot 10^{-2}) \text{ Nm} = 0,689 \text{ Nm}$$

Torque requerido na Aceleração do Sistema

Torque requerido na desaceleração do Sistema

Inércia do motor: $J_m = 4000\text{g} \cdot \text{cm}^2 = 4\text{kg} \cdot \text{cm}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (2,7 \cdot 10^{-4} + 2,1425 \cdot 10^{-4}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 0,676 \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 0,676 \text{ Nm}$$

$$T = T_{\text{acel}} - T_c = (0,676 - 1,3 \cdot 10^{-2}) \text{ Nm} = 0,663 \text{ Nm}$$

Torque requerido na Desaceleração do Sistema

Torque de Atrito na Guia Linear

$$\mu_{\text{guia}} = 0,005$$

$$W = F_N = 147 \text{ N}$$

$$T_{\text{atritoGuia}} = (P_{\text{fuso}}/2\pi) \cdot \mu_{\text{guia}} \cdot (F_N) = (0,05\text{m} / 2\pi) \cdot 0,005 \cdot 147\text{N} = 5,849 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Verificação do Torque máximo

$$T_{\text{acel}} + T_{\text{atritoGuia}} = 0,676 \text{ Nm} + 5,849 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 0,682 \text{ Nm} < T_{\text{máx}} = 3,5 \text{ Nm}$$

Verificação do Torque Efetivo (rms)

$$T_{\text{rms}} = [(T_{\text{acel_Sistema}} \cdot (t_{\text{acel}})^2 + T_{\text{c}} \cdot (t_{\text{vel_cte}})^2 + T_{\text{desacel_Sistema}} \cdot (t_{\text{desacel}})^2) / 2]^{1/2}$$

$$= [(0,689 \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2 + 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot (0,8\text{s})^2 + 0,663 \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2) / 2]^{1/2}$$

$$T_{\text{rms}} + T_{\text{atritoGuia}} = 0,1045 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} + 5,849 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 6,894 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} < T_{\text{nom}} = 1,10 \text{ Nm}$$

Torque disponível acima do necessário

Resolução = 5mm/200passos por volta = 0,025mm por passo

Fuso de Esferas Eixo Z

- Peso do Conjunto Eixo Z, $W = 3 \text{ kg}$
- Comprimento do fuso (L) $L = 200\text{mm} = 0,2 \text{ m}$
- Diâmetro do fuso = $16\text{mm} = 0,016 \text{ m}$
- Passo do fuso = $5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,005\text{m}$
- Rendimento mecânico do fuso $\eta = 90\% = 0,9$
- Tempo de aceleração = $0,1 \text{ s}$
- Tempo de desaceleração = $0,1 \text{ s}$
- tempo de operação vel. cte = $0,8 \text{ s}$
- tempo do ciclo = 2 s
- Deslocamento = $0,1 \text{ m} = 100\text{mm}$

Inércia do Fuso de Esferas

$$J_{\text{fuso}} = (\pi/32) \cdot D^4 \cdot L \cdot \rho = (\pi/32) \cdot (0,016\text{m})^4 \cdot 0,2\text{m} \cdot (7900\text{kg/m}^3) = 1,0166 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

$$J_{\text{fuso}} = 1,017 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

Inércia de Carga

$$J_{\text{carga}} = m \cdot (P_{\text{fuso}}/2\pi)^2 = 3\text{kg} \cdot (0,05\text{m} / 2\pi)^2 = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

$$J_{\text{T}} = J_{\text{fuso}} + J_{\text{carga}} = 1,0166 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2 + 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2 = 1,2065 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

$$J_{\text{T}} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

Conjugado de carga referido ao eixo do motor

$$W = m \cdot g = 3\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 29 \text{ N}$$

Coefficiente de atrito do fuso: Será utilizado o valor máximo do coeficiente de atrito do fuso $\mu_{\text{fuso}} = 0,01$ conforme o gráfico considerado anteriormente.

$$F = W \cdot (\sin \alpha + \mu_{\text{fuso}} \cdot \cos \alpha) = 29 \text{ N} \quad (0,01 \cdot 1,1) = 2,9 \text{ N}$$

Torque do conjugado da carga (T_c):

$$T_c = ((F \cdot P_{\text{fuso}}) / (2\pi \cdot \eta)) \cdot (1/i) = ((2,9 \text{ N} \cdot 0,05 \text{ m}) / (2\pi \cdot 0,9)) \cdot (1/1) = 2,56 \cdot 10^{-3} \text{ N m}$$

Sendo i a redução do fuso que no caso não há redução, logo $i=1$

Deslocamento total $0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}$

Passo do fuso = $0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm/rotação}$

$$N_{\text{rotações}} = 100 \text{ mm} / 5 \text{ mm} = 20 \text{ rotações} \quad d_i = 20 \cdot (2\pi) = 40\pi_{\text{rad}}$$

$$t_{\text{reg}} = t_{\text{tot}} - t_{\text{acel}} - t_{\text{desacel}} = t_{\text{vel_cte}}$$

$$\omega_{\text{máx}} = \theta_{\text{tot}} / ((t_{\text{acel}}/2 + t_{\text{desacel}}/2) + t_{\text{reg}}) = 40\pi / ((0,1/2 + 0,1/2) + 0,8) = 139,63 \text{ rad/s}$$

$$A_{\text{acel}} = \omega_{\text{máx}} / t_{\text{acel}} = 139,63 \text{ rad/s} / 0,1 \text{ s} = 1396,3 \text{ rad/s}^2$$

Torque requerido na aceleração do Sistema

Motor Nema 23 modelo KTC-HT23-400

Inércia do motor: $J_m = 480 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 = 0,48 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (0,48 \cdot 10^{-4} + 1,2065 \cdot 10^{-5}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 8,387 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 8,387 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$$

$T_{\text{acel_Sistema}} = T_{\text{acel}} + T_c = (8,387 + 2,56 \cdot 10^{-3}) \text{ Nm} = 8,643 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$ Torque requerido na Aceleração do Sistema

Torque requerido na desaceleração do Sistema

Inércia do motor: $J_m = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = (J_m + J_T) \cdot A_{\text{acel}} = (0,48 \cdot 10^{-4} + 1,2065 \cdot 10^{-5}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 1396,3 \text{ rad/s}^2 = 8,387 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$$

$$T_{\text{acel}} = T_{\text{desacel}} = 8,387 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$$

$T_{\text{desacel. Sistema}} = T_{\text{acel}} - T_c = (8,387 - 2,56 \cdot 10^{-3}) \text{ Nm} = 8,13 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$ Torque requerido na Desaceleração do Sistema

Torque de Atrito na Guia Linear

$$\mu_{\text{guia}} = 0,005$$

$$W = F_N = 29 \text{ N}$$

$$T_{\text{atritoGuia}} = (P_{\text{fuso}}/2\pi) \cdot \mu_{\text{guia}} \cdot (F_N) = (0,05\text{m}/2\pi) \cdot 0,005 \cdot 29\text{N} = 1,154 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Verificação do Torque máximo

$$T_{\text{acel}} + T_{\text{atritoGuia}} = 8,387 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} + 1,154 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 8,50 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} < T_{\text{máx}} = 1,40 \text{ Nm}$$

Verificação do Torque Efetivo (rms)

Atualizamos o valor de

$$T_{\text{rms}} = [(T_{\text{acel. Sistema}} \cdot (t_{\text{acel}})^2 + T_c \cdot (t_{\text{vel_cte}})^2 + T_{\text{desacel. Sistema}} \cdot (t_{\text{desacel}})^2] / 2]^{1/2}$$

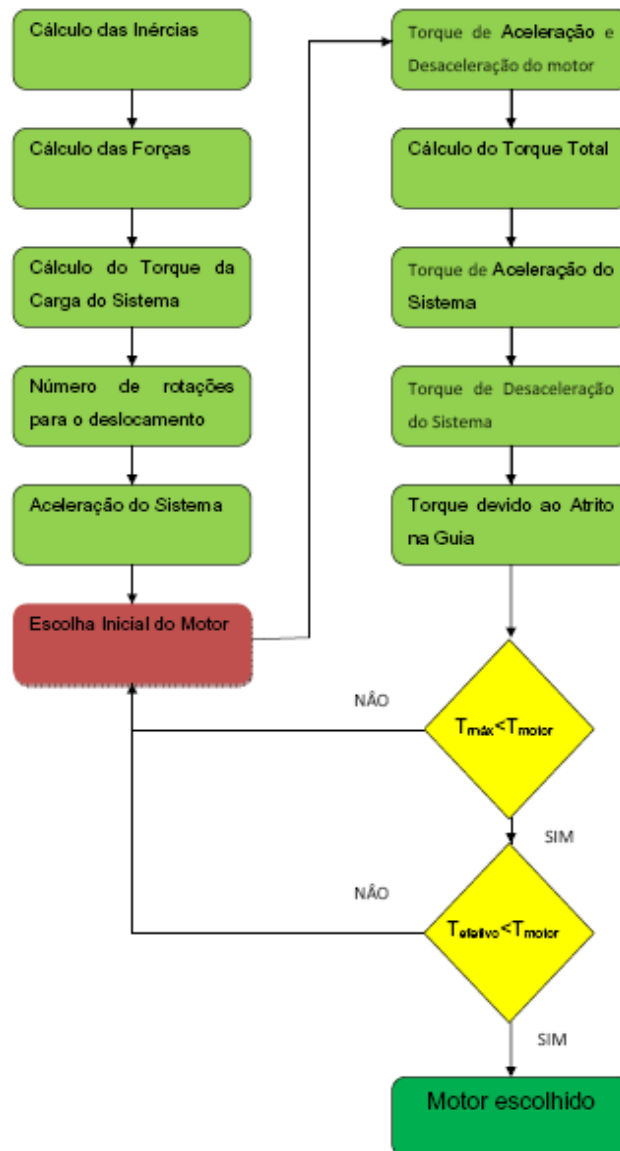
$$= [(8,643 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2 + 2,56 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot (0,8\text{s})^2 + 8,13 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} \cdot (0,1\text{s})^2) / 2]^{1/2}$$

$$T_{\text{rms}} + T_{\text{atritoGuia}} = 4,073 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} + 1,154 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 4,19 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} < T_{\text{nom}} = 0,35 \text{ Nm}$$

Torque disponível acima do necessário

Resolução= 5mm/200passos por volta= 0,025mm por passo

A seguir está apresentado o fluxograma dos cálculos realizados



Apêndice III- LISTA DE CUSTO

Abaixo a Lista de Custo do Equipamento:

ARRUELAS e PORCAS	Preço por Peça	M6	Total
TOTAL ARRUELAS LISAS	R\$ 0.02	180	R\$ 3.96
TOTAL ARRUELAS de PRESSÃO	R\$ 0.02	180	R\$ 3.96
TOTAL PORCAS	R\$ 0.04	80	R\$ 3.44
	TOTAL		R\$ 11.36

BARRAS GUIAS LINEARES	Preço por Peça	Qtd	Total
Ø 30mm diâmetro comprimento 2500mm	R\$ 185.40	2	R\$ 370.80
Ø 25mm diâmetro comprimento 2500mm	R\$ 149.80	2	R\$ 299.60
Ø 20mm diâmetro comprimento 1560mm	R\$ 117.00	2	R\$ 234.00
EIXO Z Ø 16mm Comprimento 200mm	R\$ 18.81	2	R\$ 37.62
	TOTAL		R\$ 942.02

FONTE PLASMA	Preço por Peça	Qtd	Total
Fonte Plasma PMX45 Manual 6m	R\$ 5400.00	1	R\$ 5400.00
Tocha T45m Mecanizada 7.5m	R\$ 1750.00	1	R\$ 1750.00
	TOTAL		R\$ 7150.00

FUSO DE ESFERAS	Preço por Peça	Qtd	Total
FUSO DE ESFERAS COM CASTANHA MOD.FL25X5X2500	R\$ 1150.00	1	R\$ 1150.00
FUSO DE ESFERAS COM CASTANHA MOD.FL20X5X1650	R\$ 760.00	1	R\$ 760.00
FUSO DE ESFERAS COM CASTANHA MOD.FL16X5X200	R\$ 380.00	1	R\$ 380.00
	TOTAL		R\$ 2290.00

MOTORES	Preço por Peça	Qtd	Total
MOTOR DE PASSO KTC - HT23-400 - F	R\$ 108.15	1	R\$ 108.15
MOTOR DE PASSO KTC - KML092-F07 - F	R\$ 320.25	1	R\$ 320.25
MOTOR DE PASSO KTC - KML093-F07 - F	R\$ 418.95	1	R\$ 418.95
	TOTAL		R\$ 847.35

PARAFUSOS Cabeça Sextavada Forjados aço	Preço por Peça	M5	Total
PARAFUSOS ESTIMATIVA	R\$ 0.24	216	R\$ 51.84
PARAFUSOS Cabeça Sextavada 8.8 Forjados aço	Preço por Peça	M6	Total
PARAFUSOS ESTIMATIVA	R\$ 0.36	86	R\$ 30.96

PEÇAS USINADAS	Preço por Peça	Qtd	Total
Bucha EIXO Z	R\$ 39.00	4	R\$ 156.00
Chapa base pórtico	R\$ 850.00	1	R\$ 850.00
Chapa LATERAL pórtico	R\$ 547.00	2	R\$ 1094.00
Chapa mesa Y	R\$ 365.00	1	R\$ 365.00
FUSO ESFERAS / TRAPEZOIDAL CHAPA	R\$ 73.00	1	R\$ 73.00
Mancal GUIA EIXO X	R\$ 260.00	2	R\$ 520.00
Mancal GUIA EIXO Y	R\$ 250.00	2	R\$ 500.00
Mancal GUIA EIXO Z	R\$ 240.00	2	R\$ 480.00
Mancal ROLAMENTO Ø 20mm	R\$ 45.00	4	R\$ 180.00
Mancal ROLAMENTO Ø 25mm	R\$ 58.00	4	R\$ 232.00
Mancal ROLAMENTO Ø 30mm	R\$ 66.00	4	R\$ 264.00
MESA EIXO Z BICO	R\$ 290.00	1	R\$ 290.00
SUPORTE GUIA Ø 25mm extendido	R\$ 88.00	4	R\$ 352.00
SUPORTE GUIA Ø 30mm extendido	R\$ 110.00	4	R\$ 440.00
	TOTAL		R\$ 5796.00

PERFIL de ALUMÍNIO	Preço por Peça	Qtd	Total
40x80 comprimento 1300mm	R\$ 128.00	4	R\$ 512.00
40x80 comprimento 2430mm	R\$ 230.00	4	R\$ 920.00
40x40 comprimento 1000mm	R\$ 70.00	4	R\$ 280.00
CONECTOR UNIVERSAL	R\$ 7.00	24	R\$ 168.00
PORCA RETANGULAR	R\$ 1.00	60	R\$ 60.00
CANTONEIRA 100 X 100	R\$ 15.50	12	R\$ 186.00
PARAFUSO "T"	R\$ 2.30	48	R\$ 110.40
	TOTAL		R\$ 2236.40

ROLAMENTO AXIAL	Preço por Peça	Qtd	Total
marca SKF código 51104	R\$ 37.00	2	R\$ 74.00
marca SKF código 51101	R\$ 34.80	4	R\$ 139.20
	TOTAL		R\$ 213.20

ROLAMENTO LINEAR	Preço por Peça	Qtd	Total
diâmetro interno 30mm	R\$ 37.00	4	R\$ 148.00
diâmetro interno 25mm	R\$ 34.70	4	R\$ 138.80
diâmetro interno 20mm	R\$ 28.00	4	R\$ 112.00
diâmetro interno 16mm	R\$ 26.50	4	R\$ 106.00
	TOTAL		R\$ 504.80

ROLAMENTO RADIAL	Preço por Peça	Qty	Total
marca SKF código 61804	R\$ 35.00	2	R\$ 70.00
marca SKF código 6201	R\$ 8.00	4	R\$ 32.00
	TOTAL		R\$ 102.00