

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica - Projeto e Fabricação

PMC-580 Projeto Mecânico I
PMC-581 Projeto Mecânico II

Dispositivo para Form Grinding em Retificadoras Planas

Fabio Luis De Paoli

Prof Orientador: Carlos C.C. Tu

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010666

1375142

T.F. 93
744d
1375142

Índice

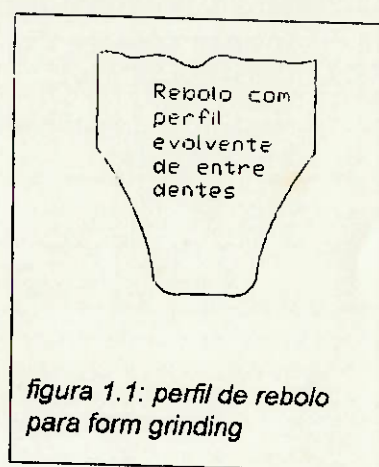
1. Introdução ao Form Grinding	3
2. Estabelecimento da Necessidade	5
3. Especificações técnicas	7
3.1 Especificações Funcionais	7
3.2 Especificações Operacionais	7
3.3 Especificações Construtivas	7
4. Síntese de Soluções	9
4.1 O Problema Básico	9
4.2 Layout Básico	11
4.3 Escolha do Sistema de Movimento Linear	12
4.4 Escolha do Sistema de Movimento Rotativo	14
4.5 Layouts Propostos	16
4.5.1 Solução 1 - Layout Básico	16
4.5.2 Solução 2 - "Pêndulo" com ponto de balanço móvel	17
4.5.3 Solução 3 - Guia horizontal com um Braço	18
4.5.4 Solução 4 - Guia vertical com um braço	19
4.5.5 Solução 5 - "Pêndulo" com ponto de balanço fixo	20
4.5.6 Solução 6 - Três elementos rotativos e três braços	21
4.6 Escolha dos layouts viáveis para aprofundamento	22
5. Projeto Básico	24
5.1 Considerações sobre a malha de discretização	24
5.2 Determinação do espaço de movimentação	24
5.3 Estimativa dos elementos para pré-cálculo	25
5.4 Dimensionamentos de guias e fusos	26
5.4.1 Valores para os cálculos	26
5.4.2 Dimensionamento do fuso de esferas vertical	28
5.4.3 Dimensionamento do fuso de esferas horizontal	28
5.4.4 Dimensionamento da guia vertical	28
5.4.5 Dimensionamento da guia horizontal	29
5.5 Seleção dos elementos dos sistemas verticais e horizontais	30
5.6 Verificação dos motores quanto ao torque	30
5.7 Movimento rotativo	31
5.7.1 Seleção dos componentes	31
5.7.2 Determinação das dimensões físicas do redutor	32
5.7.3 Porta-ferramentas	33
5.7.4 Mancais do eixo de saída	33
5.8 Zero-máquina	35
5.9 Controle do dispositivo	36
5.9.1 Microcomputador e interface	36
5.9.2 Programa de controle	36
5.10 Estrutura	37
6. Bibliografia	38

1. Introdução ao Form Grinding

Na usinagem de engrenagens existem muitos métodos para dar o acabamento superficial aos dentes, dentre os quais o método de *form grinding*, que se destaca pela possibilidade de acabamento superior e em toda a superfície do dente.

O método de *form grinding* executa o acabamento dos dentes com um rebolo que tem o perfil do entre-dentes, o qual é passado entre os dentes várias vezes. Veja na figura 1.1 o perfil de um rebolo utilizado para *form grinding* em engrenagens com dentes de perfil evolvente e na figura 1.2 um rebolo retificando uma engrenagem.

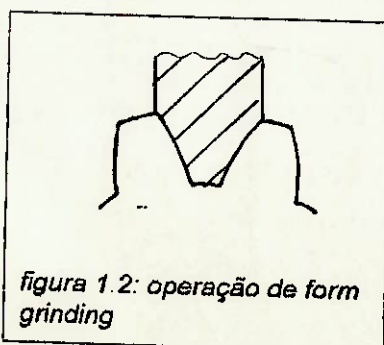
Um aparente problema desse processo seria o desgaste do rebolo e a conseqüente perda de forma do mesmo, gerando um acabamento superficial não-uniforme e de dimensões erradas. Esse problema é resolvido pela sucessiva afiação do rebolo durante a usinagem. No processo de *form grinding* é acoplado um dispositivo na máquina que após um numero determinado de passadas do rebolo aciona uma ferramenta de ponta de diamante que usina-o e refaz o perfil desejado. A cada usinagem dessas a máquina aproxima o rebolo da engrenagem para compensar a sua perda de diâmetro na afiação.



Como se percebe pela figura 1.2 toda a superfície do dente é usinada, inclusive o pé do mesmo pois o rebolo está sempre em contato com o dente inteiro. Isso tem um efeito muito importante na resistência a fadiga da engrenagem pois no fenômeno da fadiga a condição de acabamento superficial é um fator muito importante.

Na maioria das condições de uso de elementos sujeitos a fadiga a máxima tensão ocorre na superfície e portanto a vida de uma peça sob fadiga depende das condições da superfície. As operações de usinagem normais deixam um acabamento superficial marcado, ou seja, os 'canais' de passagem das pontas

das ferramentas ficam na superfície e isso é extremamente prejudicial à vida de uma peça sob fadiga pois esses 'canais' são locais de concentração de tensão e possíveis pontos de início de trinca.



Nas condições normais de fabricação de uma engrenagem (sem o uso de *form grinding*) esse acabamento superficial rugoso e indesejável fica no pé do dente pois não é feita a retificação dessa

superfície, e como o mesmo é um dos pontos de maior concentração de tensão tem-se prejuízo da vida de fadiga da engrenagem.

Como o processo de *form-grinding* permite que se dê acabamento superficial de retificação nesse ponto crítico do dente ele aumenta a vida à fadiga da engrenagem - resultado bastante desejável tendo em vista que engrenagens são elementos que passam toda a sua vida sendo sujeitadas à cargas cíclicas.

Devido ao fato que no processo de *form grinding* estamos continuamente usinando o rebolo para que ele tenha a forma do entre-dentes estamos garantindo a qualidade de fabricação - consegue-se uma qualidade dimensional melhor que com os métodos de acabamento superficial comuns pois neles não estão sendo controladas as dimensões com tal rigor. Com essa qualidade maior as engrenagens também terão vida maior pois o engrenamento será mais suave e será menos provável ocorrer o fenômeno acidental da interferência entre os dentes das duas engrenagens.

Um detalhe interessante do processo de *form grinding* é que as engrenagens podem ter qualquer perfil de dente que o método continua válido pois basta se usar o rebolo com o perfil entre-dentes desejado. É claro que para isso é necessário que o dispositivo de afiação do rebolo seja trocado para um que afie o perfil desejado ou então o dispositivo deve ser flexível a ponto de afiar qualquer perfil - por exemplo pode-se usar um esquema de 'copiador' ou então fazer o dispositivo programável.

2. Estabelecimento da Necessidade

Muitas vezes, na fabricação de engrenagens deseja-se que o acabamento superficial seja de alta qualidade e para se conseguir isso costuma-se retificar a engrenagem em máquinas apropriadas. Ocorre entretanto que essas máquinas são de custo muito alto e só oficinas que dispõem de bastante capital para investir podem adquiri-las, portanto pequenas oficinas quase sempre não as dispõem e não podem portanto dar acabamento superficial de alta qualidade em suas engrenagens.

Entretanto, se analisarmos o processo de *form grinding* para acabamento superficial em dentes de engrenagens percebermos que ele pode ser executado em máquinas retificadoras planas comuns, desde que as mesmas estejam equipadas com os dispositivos auxiliares para a afiação do reboło e indexação da engrenagem. O custo desses dispositivos, se comparado ao custo de uma máquina dedicada a retificação, é bem baixo.

Para uma oficina que possui retificadoras planas e que de vez em quando precisa retificar as suas engrenagens, mas que não tem volume (ou talvez capital) que justifique investir em uma máquina dedicada, a solução de instalar os dispositivos para *form grinding* nas suas retificadoras planas, quando for necessária a operação de retificação, é bem atraente. Além de permitir à oficina fabricar engrenagens com qualidade superficial de retífica, pelo fato de o processo ser *form grinding*, as engrenagens produzidas terão também uma maior vida à fadiga e engrenamento de maior qualidade.

Ocorre também que a maioria das máquinas para retificação de engrenagens é restrita ao perfil evolvente, pois esse é o perfil mais utilizado, mas em algumas situações desejamos usinar e dar acabamento superficial em perfis diferentes; as bombas de fluidos por engrenagens são um exemplo desse tipo de aplicação onde nem sempre os dentes tem perfil evolvente. Em algumas situações deseja-se fazer correções no perfil evolvente, geralmente no topo e fundo do dente, para compensar os efeitos da deflexão elástica de um dente carregado numa engrenagem em funcionamento. Para esses casos seria interessante que a máquina de dar acabamento superficial fosse capaz de variar o perfil usinado, não sendo apenas fixa na retificação de perfil evolvente.

A operação de *form grinding* permite essa flexibilidade pois podemos usinar qualquer perfil de dente desde que o reboło que fará a retificação seja afiado com o perfil do entre-dentes desejado. Logo, é interessante que o dispositivo de afiação de reboło seja flexível a ponto de afiar qualquer perfil de entre-dentes que desejemos. Com a moderna tecnologia micro-eletrônica a implementação de um dispositivo desse tipo com essa flexibilidade tornou-se muito simples e economicamente viável.

Do que foi exposto acima percebe-se a necessidade de um dispositivo, para ser adaptado em máquinas retificadoras planas, que execute a afiação do rebolo para a execução de uma operação de *form grinding* e que tenha a flexibilidade do perfil usinado. O controle por microcomputador é desejável tendo em vista a sua facilidade no presente momento tecnológico.

Neste trabalho desenvolveremos um dispositivo que atende às necessidades descritas acima.

3. Especificações Técnicas

3.1 Especificações Funcionais

A máquina deve ser capaz de usinar rebolos que usinarão engrenagens com módulos entre 1 e 10 mm, diâmetro primitivo máximo de 250 mm e diâmetro primitivo mínimo de 30 mm. Para o caso de diâmetro 250 mm e módulo 1 temos um número máximo de dentes igual a 250, e para o caso de diâmetro 30 módulo 2 temos um número mínimo de dentes igual a 15.

Desejamos que uma engrenagem retificada por um rebolo afiado pelo nosso dispositivo tenha qualidade DIN 5 ou menor em termos do erro total de perfil (*total profile error*). Em termos numéricos isso significa que desejamos um erro total de perfil de 4 mm para um módulo de 1. Vale notar que como o dispositivo de afiação do rebolo será o mesmo para a afiação de qualquer módulo teremos esse valor de erro para qualquer módulo e portanto a medida que o módulo aumenta teremos um aumento da qualidade do perfil.

O tempo total de retificação não deve ser exagerado; é admissível que ele seja inferior ao tempo de retificação de uma máquina dedicada porém ele não deve ser absurdo. cremos que com o projeto que virá essa especificação será atendida sem grandes preocupações pois as velocidades de afiação do rebolo não serão muito pequenas.

3.2 Especificações Operacionais

Deseja-se flexibilidade do perfil usinado: qualquer perfil de dente cuja superfície possa ser retificada por um rebolo, devidamente afiado com o entre-dentes, deve ser possível de ser executado com o dispositivo.

Para se obter essa flexibilidade poderíamos adotar um esquema copiador ou então um controle por computador. Mecanismos copiadores necessitam de um gabarito em escala maior e isso além de aumentar o custo pode comprometer a qualidade pois o gabarito pode não estar perfeito ou pode ter sido danificado antes de seu uso. Como a tecnologia atual já nos permite fazer controles por micro-computadores eficientes e de baixo custo, desejaremos que o dispositivo seja controlado por um microcomputador.

3.3 Especificações Construtivas

O dispositivo deve ser compacto de modo que se adapte bem à máquina sem interferir com a estrutura da mesma e sem exigir grandes modificações na mesma. Ele deve ser simples de modo a facilitar a sua manutenção, e a sua instalação/desinstalação na máquina deve ser fácil e rápida. Ele deve ser robusto

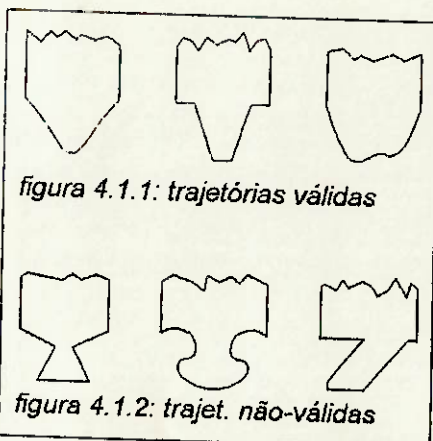
e isento de vibrações que prejudiquem a qualidade da afiação do rebolo e conseqüentemente a qualidade final da engrenagem retificada.

O dispositivo deve ir montado numa máquina retificadora plana com percurso vertical do rebolo de aproximadamente 300 mm.

4. Síntese de Soluções

4.1 O Problema Básico

O problema básico que vamos resolver é o da movimentação da ferramenta segundo uma certa trajetória, com uma certa rigidez posicional e com uma certa velocidade.



Como desejamos controle por computador e flexibilidade de perfil a ser usinado podemos ter infinitas trajetórias, porém o problema do movimento da ferramenta permanece similar pois, apesar de infinitas as trajetórias, elas tem que ser aceitáveis como perfil de entre-dentes. Exemplos de trajetórias válidas estão na figura 4.1.1 e exemplos de trajetórias não-válidas estão na figura 4.1.2.

Vamos estudar durante o projeto a implementação da trajetória para o perfil evolvente, que provavelmente será a trajetória mais utilizada com o dispositivo durante o seu uso.

As equações de um perfil evolvente, considerando coordenadas cartesianas, são:

$$\beta_p = \tan \alpha_p - \alpha_p$$

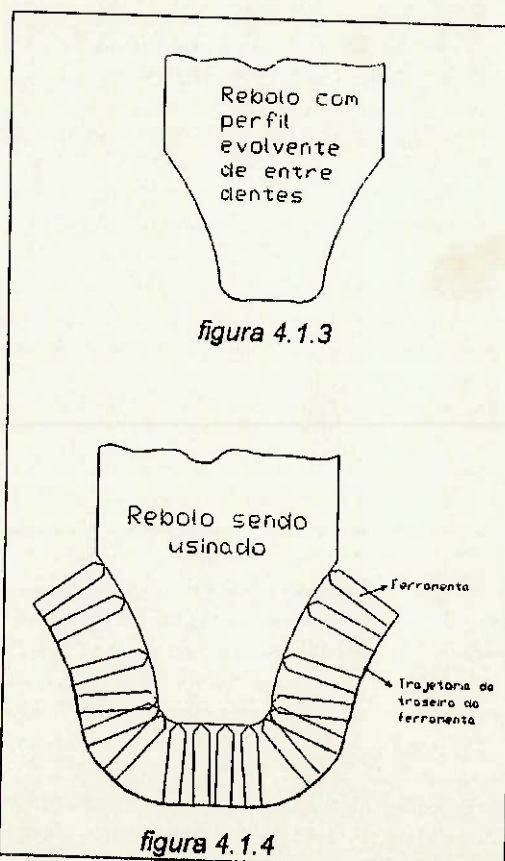
$$\gamma_p = \alpha_p + \beta_p$$

$$x_p = r_p \cdot [\cos \gamma_p + \gamma_p \cdot \text{sen} \gamma_p]$$

$$y_p = r_p \cdot [\text{sen} \gamma_p - \gamma_p \cdot \cos \gamma_p]$$

Veja na figura 4.1.3 o desenho de um reboło com esse perfil. Na figura 4.1.4 estão representadas as trajetórias das pontas da ferramenta (obviamente uma das pontas é o próprio perfil do reboło sendo usinado). A ferramenta foi desenhada em 16 posições para se ter uma idéia do seu movimento enquanto sólido.

Percebe-se que para gerar o movimento



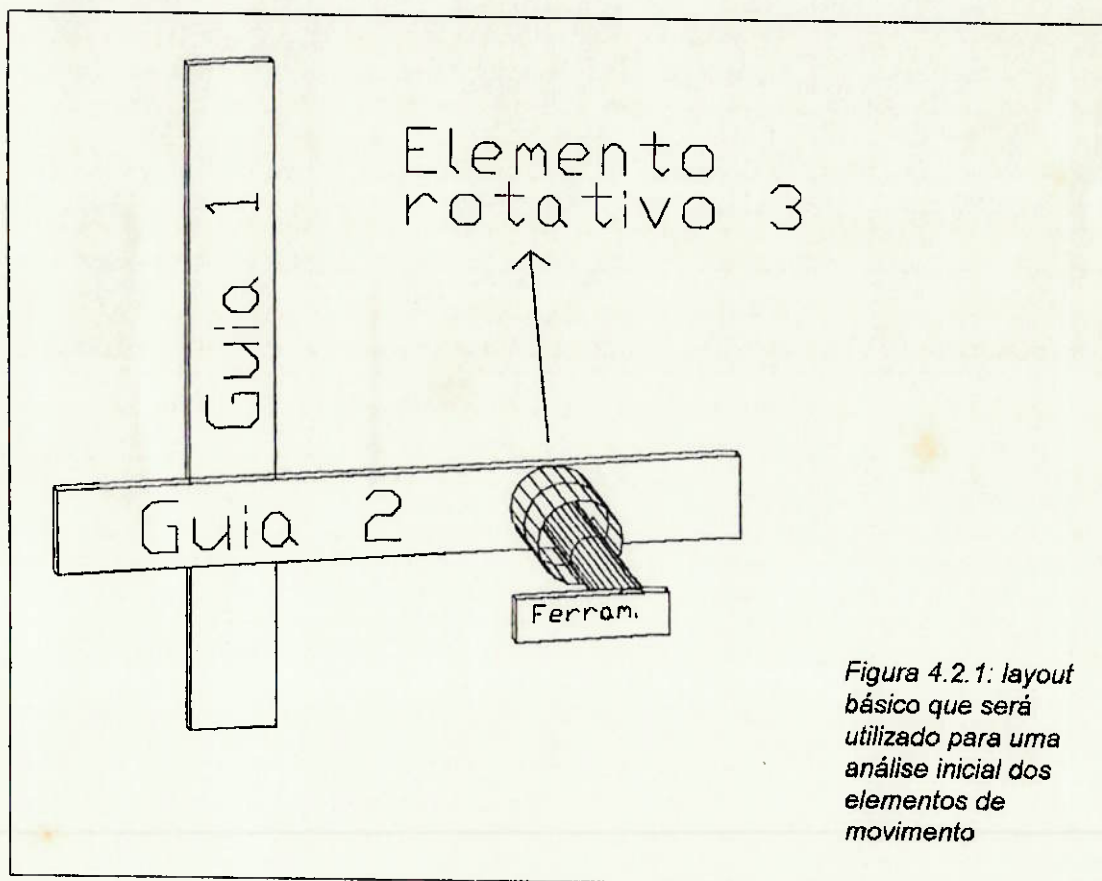
da ferramenta ilustrado na figura 4.1.4 é necessário um mecanismo que execute movimentos de translação do CG da mesma na direção vertical, outro na direção horizontal e outro que a rotacione. Portanto, trata-se de um problema com 3 graus de liberdade: 2 graus para o posicionamento do CG e 1 grau para a rotação do sólido.

Além disso percebe-se que a ferramenta tem que ser capaz de girar num arco de 180 graus para ser capaz de usinar os perfis. Se tomarmos como origem angular o centro da engrenagem sendo retificada e uma reta vertical, a ferramenta tem que ser capaz de girar de -90 a 90 graus. Para os perfis possíveis de entre dentes não serão necessários ângulos fora dessa faixa.

4.2 Layout Básico

Na figura 4.2.1 está o layout básico para resolver esse problema. Basicamente tem-se a ferramenta presa em um elemento rotativo 3, o qual está ligado em uma guia 2 que desloca-o na direção vertical, a qual está ligada em uma guia 1 que desloca-a na direção horizontal.

Neste layout básico, que contém elementos de movimento linear e elementos de movimento angular, basearemos a nossa análise inicial. Posteriormente experimentaremos com outros layouts e escolheremos o melhor.



4.3 Escolha do Sistema de Movimento Linear

Por enquanto deixaremos o problema de gerar o movimento rotatório de lado e nos concentraremos nos movimentos de translação horizontais e verticais. Para movimentar as guias descritas anteriormente teremos que usar algum tipo de sistema de movimento (sistema de acionamento), não esquecendo que queremos liberdade total de posicionamento pois não conhecemos qual será a trajetória programada. Antes de começar a descrever os sistemas e soluções vamos definir que toda vez que nos referirmos a um "motor de passo" estaremos nos referindo a um motor de passo rotativo. No presente momento os sistemas dos quais podemos escolher são:

- Acionamento pneumático: com este sistema o movimento e posicionamento se daria através de pistões pneumáticos, que seriam alimentados com ar comprimido por um circuito pneumático de apoio. Este sistema incorre nos problemas: falta de rigidez posicional; falta de precisão de posicionamento. Seu custo é bastante variável e dependerá dos elementos que serão escolhidos para compor o circuito pneumático. Um circuito desse tipo ocupa um grande volume. Para controlar esse circuito por computador é necessário utilizar válvulas solenóides para controlar a alimentação dos pistões.

- Acionamento hidráulico: com este sistema o movimento e acionamento se daria através de pistões hidráulicos, que seriam alimentados com óleo por um circuito hidráulico de apoio. Este tipo de sistema pode entregar esforços de grande magnitude e tem boa rigidez posicional e razoavelmente boa precisão posicional. Seu custo também é bastante variável porém geralmente alto; como no caso anterior o custo dependerá dos elementos escolhidos para compor o circuito de apoio. Um circuito desses ocupa um volume considerável, maior que o do caso pneumático. Para controlar esse circuito por computador é necessário utilizar válvulas solenóides para controlar a alimentação dos pistões.

- Acionamento por motor de passo com componentes auxiliares: neste sistema um motor de passo tem seu eixo ligado em um fuso de esferas recirculantes, sendo a castanha movimentada linearmente a medida que o motor gira. O elemento a ser movimentado é ligado na castanha. Este sistema tem uma ótima precisão de posicionamento e dependendo do motor e do fuso escolhido a rigidez posicional também é ótima. O controle por computador deste tipo de sistema é muito simples pois basta usar uma interface ligada diretamente no motor. Percebe-se que o controle da posição é exato pois o computador comandará diretamente a fonte de movimento. Seu custo dependerá do motor, fuso e componentes de apoio escolhidos mas geralmente não é tão alto como o de um circuito hidráulico ou pneumático. Um sistema desses geralmente é bastante compacto devido a natureza elétrica e mecânica de seus componentes, e sua manutenção além de quase nula é muito simples quando necessária. Vale lembrar entretanto que pela natureza do motor o movimento é discretizado, mas

isso não é muito importante se o tamanho do passo é bem pequeno.

- Acionamento direto por motor de passo linear: neste caso o elemento a ser movimentado é preso diretamente no carro do motor de passo linear. Este sistema tem as vantagens: boa precisão posicional (pois controla-se diretamente quanto o carro move); altas velocidades; porém tem as desvantagens: falta de rigidez posicional; alto custo. Na operação que vamos executar não temos necessidade de altas velocidades porém temos necessidade de boa rigidez posicional e desejamos o menor custo possível, portanto este sistema não parece ser uma boa escolha. As considerações que fizemos para o sistema anterior quanto a manutenção e movimento discretizado também são válidos para este sistema.

- Acionamento por motor de corrente contínua com componentes auxiliares e malha fechada: este sistema é análogo ao do "motor de passo com componentes auxiliares" com a troca do motor de passo por um motor de corrente contínua com realimentação da posição, portanto trata-se de um sistema de malha fechada. Este tipo de acionamento tem as vantagens: capacidade de entregar altos esforços e alto torque, porém tem as desvantagens: alto custo; necessidade de ajuste das características do controle em malha fechada para evitar sobressinal, velocidades de resposta satisfatórias, etc. Como já foi exposto anteriormente não necessitamos de altos esforços ou torques na operação que vamos executar, porém desejamos o menor custo possível. Pelo fato de o sistema ser em malha fechada ele tem seu custo aumentado e passa a ser mais complexo e suscetível a perturbações no sistema de controle.

Pelo que foi exposto acima escolheremos o sistema de acionamento por motor de passo com componentes auxiliares pois é o que tem as melhores características de posicionamento, rigidez posicional, integrabilidade ao controle por computador, benefício/custo (para a aplicação) e tamanho.

Importante lembrar que o movimento será portanto discretizado e no futuro teremos que verificar se o tamanho de passo do motor utilizado será satisfatório. Talvez se torne necessário o uso de uma placa de interface e controle com capacidade para micro-passos, mas verificaremos isso mais a frente.

4.4 Escolha do Sistema de Movimento Rotativo

Para o sistema de movimento rotativo iremos adotar como fonte de movimento um motor de passo por dois motivos:

- pelo que já foi exposto anteriormente ele é o melhor tipo de fonte de movimento quando se pensa em precisão de posicionamento, integrabilidade ao controle por computador, benefício/custo e tamanho.
- como o sistema com motor de passo já foi escolhido para os movimentos lineares, para que haja uniformidade no dispositivo ele será usado no movimento rotativo. Essa uniformidade diminui o custo do dispositivo e facilita a sua manutenção.

Existem vários modos de se fazer o sistema de movimento rotativo da ferramenta, mas deve se levar em conta que é muito importante a rigidez posicional e a precisão de posicionamento da ferramenta numa operação de usinagem. Vamos portanto fazer um comparativo dos modos possíveis de fazer o movimento rotativo:

- Acionamento direto: neste caso o porta-ferramenta é ligado diretamente ao eixo do motor de passo. Este acionamento apresenta as desvantagens: a ferramenta terá a rigidez angular do motor de passo; as posições da ferramenta são limitadas pelo número de passos do motor. A segunda desvantagem pode ser resolvida usando um motor com mais passos ou uma interface controladora com capacidade de micro-passos, mas isso aumenta o custo, talvez desnecessariamente.
- Acionamento com redução por engrenagens: neste caso o motor de passo é ligado a uma redução com duas engrenagens em cuja saída está ligado o porta-ferramenta. Desse modo ocorre um aumento da rigidez angular devido à redução e diminui-se o movimento angular da ferramenta por passo do motor, aumentando a resolução do mesmo. A grande desvantagem desse acionamento é que sempre existe uma folga entre os dentes das engrenagens do redutor, e essa folga recai diretamente sobre o porta-ferramentas comprometendo a precisão do posicionamento e permitindo uma leve oscilação da ferramenta, o que é bastante indesejável.
- Acionamento com redução por parafuso sem fim e engrenagem: neste caso o eixo do motor de passo é ligado a um parafuso sem fim ao qual é engrenada uma engrenagem, no eixo da qual está ligado o porta ferramenta. As vantagens são análogas ao caso anterior, porém o fator de redução é bem maior para o mesmo volume ocupado. As desvantagens são: a velocidade de movimentação da ferramenta será baixa; também existe a folga entre os dentes da engrenagem e o filete do parafuso. A velocidade baixa não é grande problema pois trata-se de uma usinagem que não requer velocidades muito altas, mas a folga no

posicionamento é um problema grande, como no caso anterior.

- Acionamento com redução por "cilindros ligados por fita": neste método o motor de passo é ligado a um redutor que trabalha com o seguinte princípio: dois cilindros são colocados lado-a-lado e uma fita (ou cabo) tem uma ponta presa em um deles e é enrolada alternadamente em torno de ambos com sentido alternado em cada um (sentido horário em um e anti-horário no outro), formando a figura de um "8" se vista da direção axial, e finalmente tem sua outra ponta presa no outro. Desse modo, quando se gira um dos cilindros o outro gira na direção oposta e com uma relação de velocidades inversamente proporcional a relação entre os diâmetros (como num par engrenado). Veja uma na figura 4.4.1 uma ilustração desse tipo de redutor. Ele apresenta as vantagens de um redutor por engrenagens porém o efeito de folga é bem menor. Neste redutor não há dentes e a única folga é a existente devido ao tensionamento incorreto da fita (ou cabo), mas essa folga é minimizada a medida que aumentamos o número de voltas que a fita dá em torno dos cilindros pois a folga "se divide" entre as passagens da fita de um cilindro para o outro. A sua construção é bastante simples sendo os únicos pontos críticos os locais onde as pontas da fita são presas, os quais projetaremos futuramente mas que prevemos não serem uma grande dificuldade.

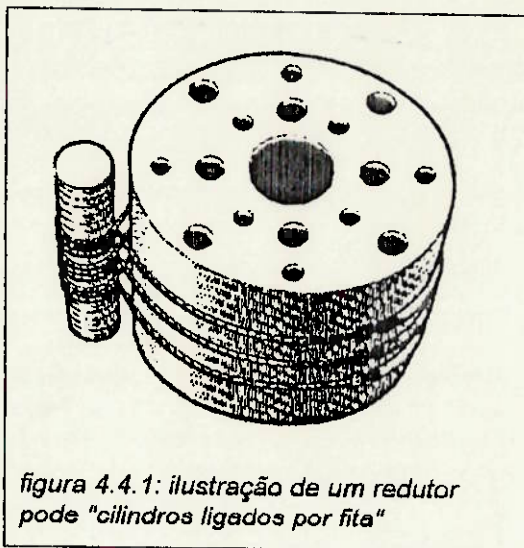


figura 4.4.1: ilustração de um redutor por "cilindros ligados por fita"

Pelo que foi exposto acima o sistema de movimento angular escolhido é o do motor de passo com redutor por "cilindros ligados por fita".

4.5 Layouts Propostos

Agora que já conhecemos o problema, sabemos como serão feitos os acionamentos e examinamos um layout básico, vamos propor soluções para o layout, fazer uma análise e escolher a melhor opção.

Como já foi mencionado antes, este é um problema de 3 graus de liberdade e portanto todas as soluções de layout se basearão nisso. Basicamente teremos elementos onde se varia distâncias e elementos onde se varia um ângulo. Um detalhe interessante é que devido à necessidade da ferramenta estar sempre perpendicular à trajetória será sempre necessária a presença de pelo menos um elemento rotacional.

Durante esta síntese foi feito um brainstorming de soluções com 3 graus de liberdade, mas não citaremos todas as soluções encontradas pois algumas não atendem os requisitos do projeto logo à primeira vista, como no caso das soluções levantadas que não garantiam sempre a perpendicularidade da ferramenta ao perfil usinado. Das 9 soluções levantadas no brainstorming, 3 não garantiam sempre a perpendicularidade da ferramenta ao perfil sendo usinado, das quais 1 não permitia-se mudar o sentido para o qual apontava a ferramenta, logo só servia para usinar um lado.

As 6 soluções de layout restantes serão descritas e ilustradas a seguir:

4.5.1 Solução 1 - Layout Básico

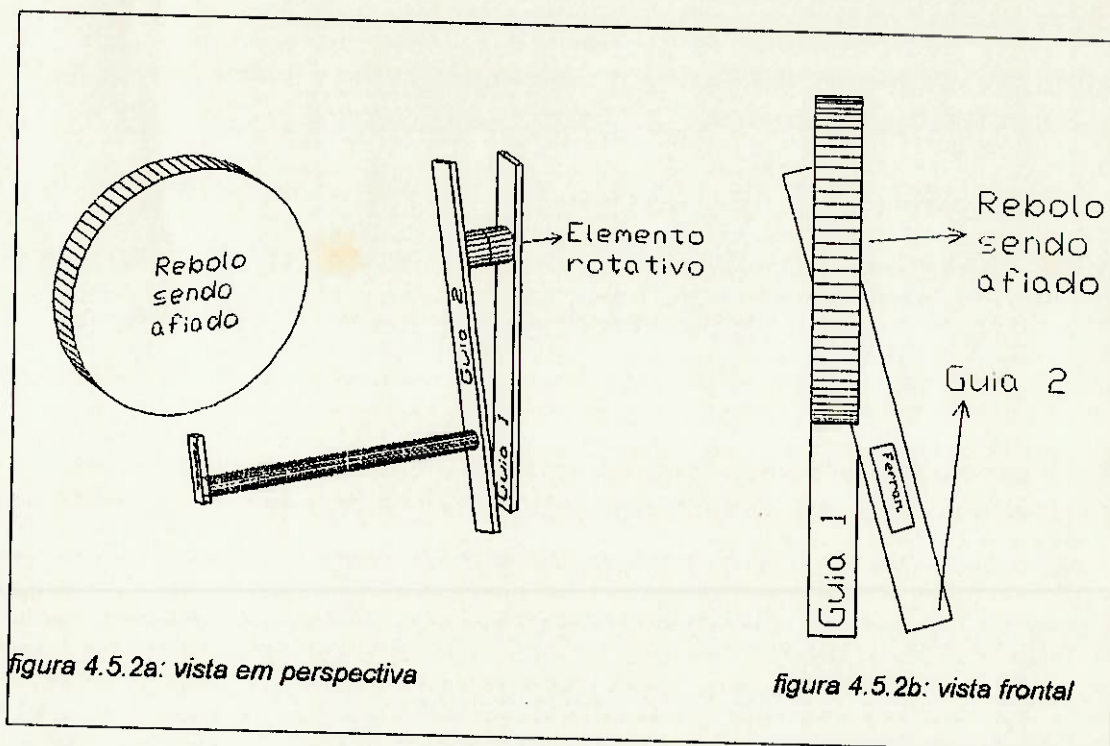
A primeira solução é o layout básico já apresentado anteriormente. Ele é composto por dois elementos de movimento linear e um movimento de movimento rotativo. O primeiro elemento gerador de movimento é linear, o segundo também e por fim existe o elemento de movimento rotacional que tem ligado a sua saída uma extensão aonde vai presa a ferramenta.

A solução é bastante direta e pode ocupar pouco espaço se a guia vertical ficar posicionada no plano do rebolo e os outros componentes forem dimensionados para ocupar o menor espaço possível. O interessante é que esta solução ocupa espaço vertical, que temos disponível, e não precisa ocupar muito espaço horizontal (no desenho do layout básico a guia horizontal está muito maior do que precisa efetivamente ser). Talvez mais importante de tudo é que a rigidez deste layout parece muito boa, o que é fundamental para garantir uma boa qualidade na afiação.

4.5.2 Solução 2 - "Pêndulo" com ponto de balanço móvel

Neste layout, ilustrado nas figuras 4.5.2a e 4.5.2b, temos uma montagem que lembra um pêndulo - a ferramenta fica ligada por uma extensão à guia 2, que movimenta-a linearmente através de sua extensão. A guia 2, por sua vez, é rotacionada pelo elemento rotativo, o qual é movimentado verticalmente pela guia 1, que é imóvel. O "pêndulo" seria a guia 2 com a ferramenta.

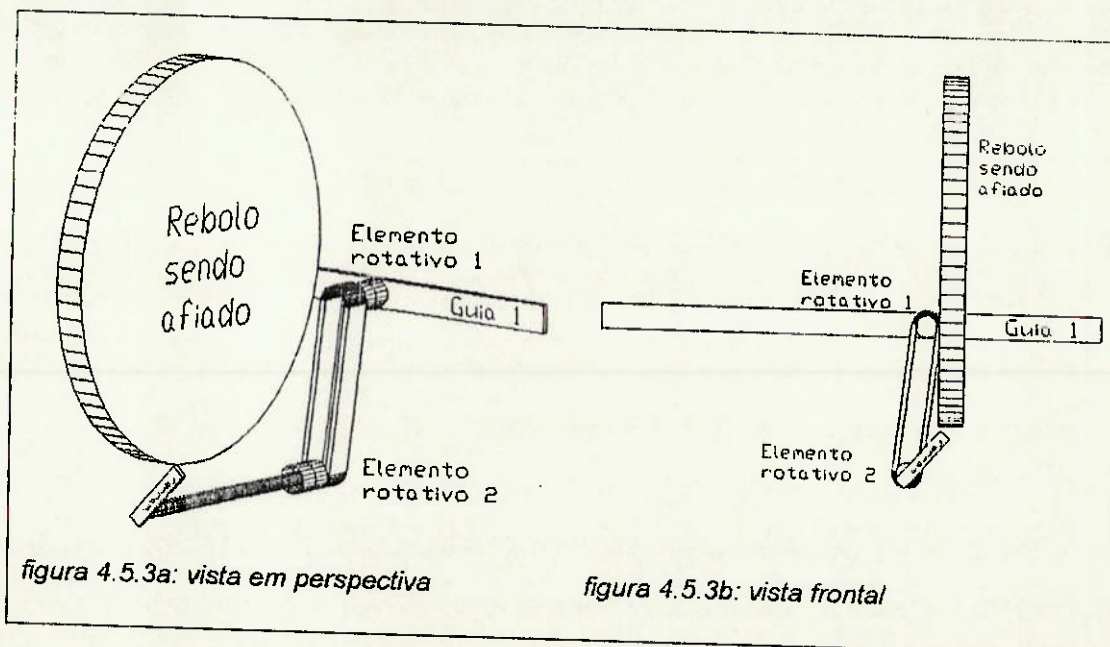
Este layout também pode ocupar pouco espaço se bem dimensionado, e ele ocupa basicamente espaço vertical, de que temos disponibilidade. O "pêndulo" provavelmente poderá ser de pequenas dimensões pois os rebolos que serão afiados não são de tamanho muito grande, e isso significa que o espaço horizontal ocupado também será pequeno. A rigidez da estrutura parece boa devido às suas pequenas dimensões, entretanto a presença de um elemento rotativo antes de um elemento linear pode ser problema pois os elementos lineares tem, pelas suas características construtivas, maior rigidez e maior precisão.



4.5.3 Solução 3 - Guia horizontal com um Braço

Nesta solução, ilustrada nas figuras 4.5.3a e 4.5.3b, a ferramenta é rotacionada pelo elemento rotativo 2, o qual está ligado por um braço de tamanho fixo ao elemento rotativo 1, que rotaciona esse braço. O elemento rotativo 1 é, por sua vez, deslocado horizontalmente pela guia 1. O tamanho do braço tem que ser escolhido de modo que a ferramenta possa sempre ser colocada de modo a estar perpendicular ao perfil usinado (uma rápida análise geométrica fornecerá esse valor se necessário).

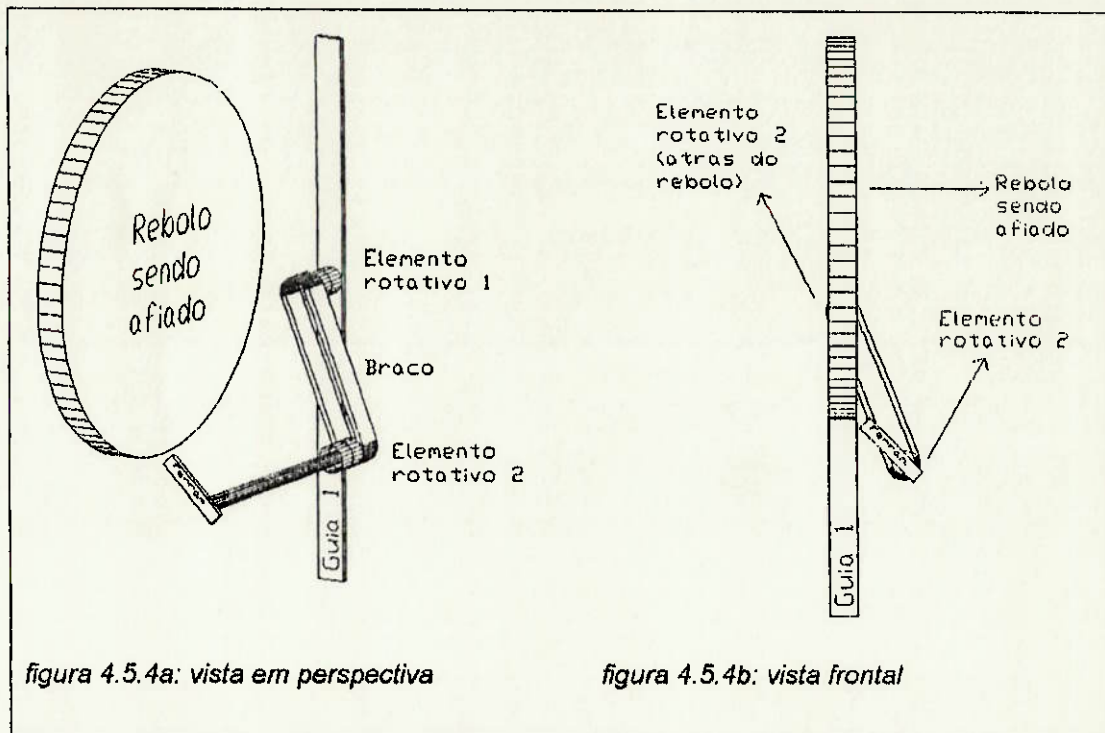
Este layout tem a desvantagem de ocupar bastante espaço horizontal e de ter dois elementos rotativos, porém ele tem a vantagem de que o conjunto móvel (elementos rotativos 1, 2, braço e ferramenta) provavelmente terá menos massa que um conjunto que tivesse uma guia linear pois uma guia precisa de todo um conjunto de estruturas (fuso de esferas, guias com roletes para movimentação, etc...), enquanto que os elementos rotativos necessitam apenas de grande volume, para fazer as reduções por cilindros cujo cilindro de saída teria diâmetro grande porém muito espaço vazio, mas menos massa. O braço também pode ser feito de modo a ter pouca massa porém boa rigidez (escolha de material leve e robusto). Isso significa que a inércia da estrutura será pequena e que portanto ela será menos sujeita a vibrações devido ao movimento discretizado dos motores de passo. O fato de se ocupar muito volume pode não ser interessante, apesar da inércia menor, pois pode não haver esse volume na máquina.



4.5.4 Solução 4 - Guia vertical com um braço

Esta solução é análoga à anterior com a diferença que a guia é vertical e não horizontal. Apresenta a vantagem de ocupar espaço vertical (cuja disponibilidade é grande) ao invés de espaço horizontal (que não é tão disponível) sobre a solução posterior. Veja as figuras 4.5.4a e 4.5.4b.

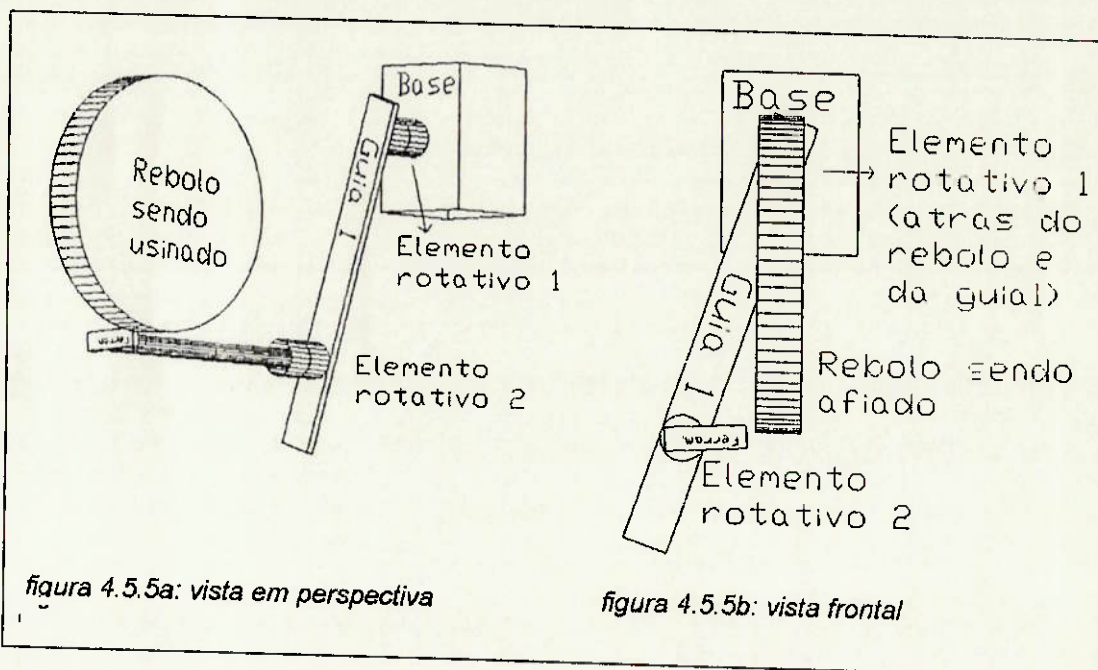
Suas características dinâmicas são muito parecidas, porém percebe-se que a movimentação da ferramenta será mais direta neste layout pois no dispositivo há predominância de movimentos verticais sobre horizontais e este layout é mais voltado para movimentos verticais.



4.5.5 Solução 5 - "Pêndulo" com ponto de balanço fixo

Esta solução, ilustrada nas figuras 4.5.5a e 4.5.5b, é muito parecida com a solução 2, porém nesta o ponto de balanço do "pêndulo" é fixo no espaço e o movimento linear fica localizado no "pêndulo". A ferramenta é rotacionada pelo elemento rotativo 2, o qual é movimentado ao longo do "pêndulo" pela guia 1, a qual é rotacionada pelo elemento rotativo 1.

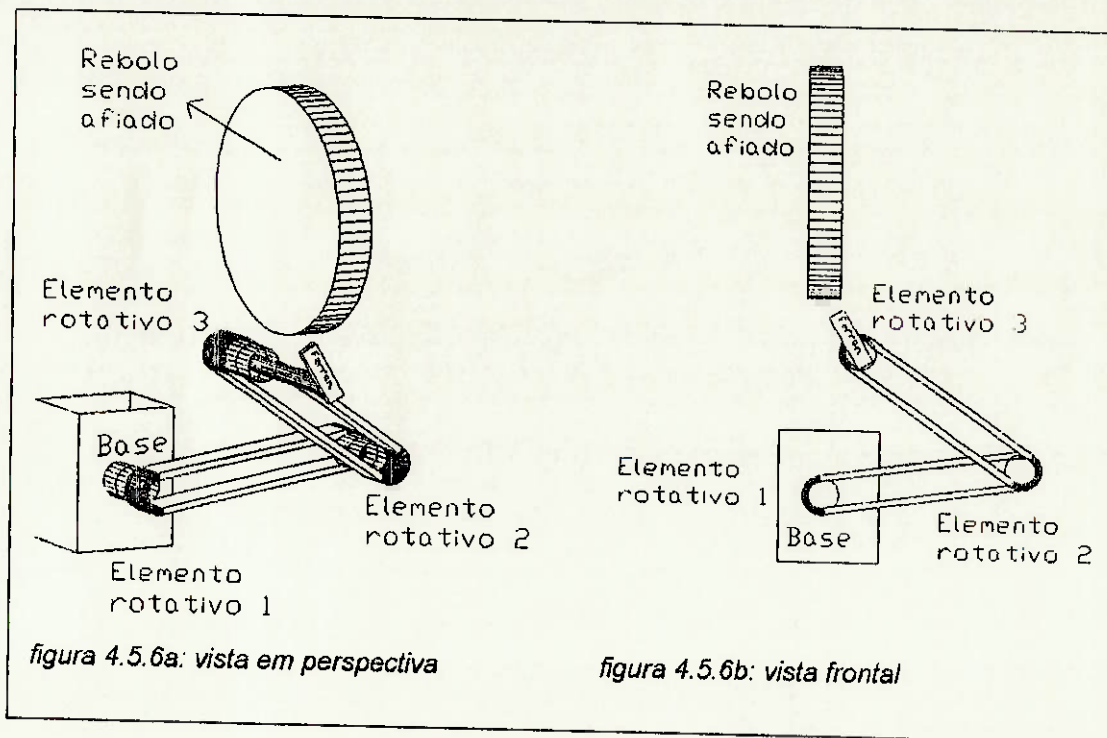
As características dinâmicas desta estrutura são muito parecidas com as da solução 2, porém nesta solução temos um elemento rotativo movimentando todo o resto do dispositivo, o que pode não ser interessante tendo em vista que a rigidez de um elemento rotativo é menor do que a de um elemento linear e este elemento rotativo terá toda a massa do resto da estrutura para movimentar.



4.5.6 Solução 6 - Três elementos rotativos e três braços

Nesta solução, ilustrada nas figuras 4.5.6a e 4.5.6b, temos apenas elementos rotativos fornecendo movimento; podemos vê-la como três vetores de tamanhos fixos que são acoplados nas extremidades, dois deles sendo os braços e a ferramenta sendo o outro.

Devido ao fato que só usa elementos rotativos, este layout deve ser o menos rígido. Além disso o volume ocupado por esta solução será bem grande pois cada elemento rotativo demanda um volume razoável para a redução por cilindros, e ter três elementos desses significa ocupar bastante volume.



4.6 Escolha dos layouts viáveis para aprofundamento

Vamos agora escolher as melhores soluções para uma posterior análise, com mais detalhes, de onde sairá o layout final.

De início percebemos que os layouts que tem 2 elementos lineares e 1 rotativo são mais interessantes que os layouts que tem mais elementos rotativos pois os elementos de movimento linear são mais precisos e mais rígidos. Isso acontece porque o seu componente principal, que é o fuso de esferas recirculantes, será adquirido de empresas especializadas em sua fabricação e que os fazem com alta qualidade e precisão. Além disso, o fuso de esferas faz uma redução de bom valor com pouco espaço - para conseguir a mesma redução em um redutor por cilindros é necessário um volume grande para acomodar o cilindro de maior diâmetro.

A rigidez da estrutura e a sua robustez são de fundamental importância. Por estrutura queremos dizer não só os elementos de movimento representados nos layouts, mas os elementos auxiliares (guias rolamentadas, estrutura de sustentação, mancais de rolamento, etc). Uma rápida análise nos revela que os elementos de movimento linear precisam de estruturas de apoio mais fáceis de montar e manter em operação, como é o caso das guias rolamentadas, que podem facilmente ser colocadas paralelas ao fuso e ter os seus 'carros' ligados à castanha por uma estrutura simples, onde ficaria apoiado o elemento sendo movimentado. Mesmo os fusos, que precisam de mancais rolamentados em suas duas pontas para performance ótima, não requerem uma estrutura muito complexa para tê-los, pois as características construtivas dos elementos lineares facilitam isso. Os elementos rotativos, que teriam que ter mancais nas duas pontas de seus eixos para uma boa rigidez, nem sempre podem tê-los devido às características construtivas; muitas vezes é possível mas difícil estruturalmente ter os eixos bi-apoiados.

Das 6 soluções apresentadas, 2 delas tem 2 elementos lineares e 1 elemento rotativo, e as outras 4 não apresentam características fortes o suficiente para compensarem o fato de terem 2 elementos rotativos. A solução 6, que tem 3 elementos rotativos, pela nossa análise seria a menos viável.

As 2 soluções viáveis citadas acima são a solução 1 (layout básico) e a solução 2 (layout em "pêndulo"), as quais ocupam pouco volume e ao mesmo tempo o volume que elas ocupam é basicamente vertical. A estrutura de base das duas soluções é parecida pois ambas se baseiam num elemento linear vertical como fonte do primeiro movimento e portanto ambas as estruturas de base serão verticais e concentradas em manter esse elemento firme, ao mesmo tempo aguentando o peso do resto do dispositivo.

Em termos financeiros as duas soluções são muito parecidas pois tem elementos

muito similares, portanto não é possível agora escolher entre elas financeiramente. Em termos de viabilidade econômica, não é necessária muita análise para perceber que este dispositivo, com seus elementos simples, é muito mais barato que uma máquina dedicada. Como este projeto é voltado para oficinas que não necessitam de uma máquina dedicada qualquer um dos dois layouts acima é economicamente viável.

A decisão final sobre o layout ideal acaba caindo no fator ordem dos elementos. A solução 1 apresenta uma ordem de montagem dos elementos (vertical, horizontal, rotativo) um pouco melhor do que a ordem da solução 2 em termos de facilidade de montagem, fragilidade ao transporte e possivelmente rigidez estrutural. A solução 2, devido a sua característica de pêndulo, é mais difícil de ser montada e pode ser mais trabalhosa de se transportar (tem que se travar tudo senão o pêndulo fica balançando), além do que o elemento rotativo passa a necessitar ser montado em um eixo de saída com mancais que aguentem a carga do resto da estrutura, tanto em termos de peso como de momento - isso não é desejável pois as guias lineares são elementos muito melhores para essa função.

Concluindo, a idéia inicial (solução 1) acabou se provando a mais viável de ser levada adiante e portanto será com base nela que desenvolveremos o resto do projeto.

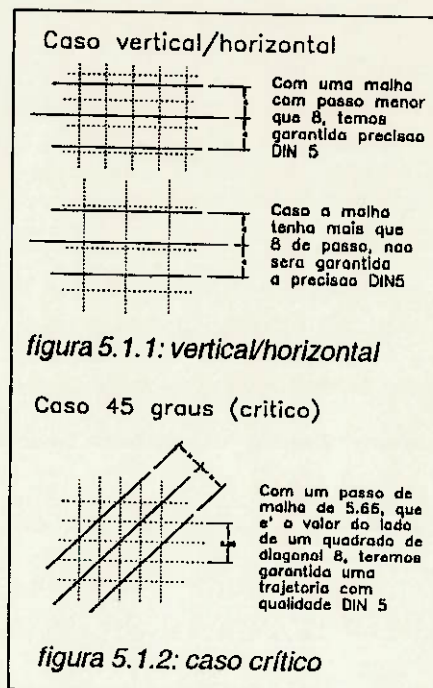
5. Projeto Básico

5.1 Considerações sobre malha de discretização

O dispositivo que estamos projetando, devido ao uso de motores de passo, utiliza uma malha de discretização do espaço de movimentação da ferramenta. Temos que garantir uma qualidade de dressagem de acordo com DIN 5, que impõe $4\mu\text{m}$ no perfil, o que de início nos levaria a supor uma malha de $8\mu\text{m}$ de passo (veja figura.5.1.1). Entretanto, deve-se fazer a análise com o pior caso, que é uma trajetória com inclinação de 45° graus (veja figura.5.1.2).

Pela figura.5.1.2 percebe-se que a malha mínima passa a ser 8 sobre raiz de 2, que é $5.66\mu\text{m}$. Como os componentes utilizados não são perfeitos e existem folgas mecânicas imprevisíveis, deve-se projetar a malha de discretização levando essas folgas em conta. Iremos utilizar componentes sempre com pré-carga (eliminando as folgas), portanto uma pequena segurança em relação a $5.66\mu\text{m}$ nos será suficiente.

Quanto ao ângulo de posicionamento da ferramenta, um erro no mesmo será de pequena importância pois será um erro de cosseno; desse modo, com o uso de um motor de passo com meio passo e com a redução *zero-backslash* teremos garantido uma "malha de discretização angular" satisfatória (veja mais a frente a seleção do motor e driver para movimento angular).



5.2 Determinação do espaço de movimentação requerido

Vamos pegar a condição de operação que produzirá uma dressagem do rebolo com o maior perfil de evolvente possível:

módulo = 10 mm

$\alpha_o = 20^\circ$

diâmetro primitivo (engrenagem) = 250 mm

teremos portanto um número de dentes igual a 25 e um perfil máximo de acordo com a figura.5.2.1.

Se aproximarmos esse perfil por um trapézio para facilitar o dimensionamento do espaço requerido, teremos a figura.5.2.2. Percebe-se que nessa figura está

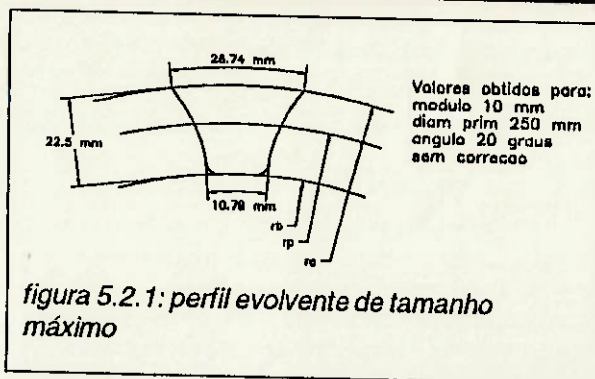


figura 5.2.1: perfil evolvente de tamanho máximo

também alocado o espaço que a ferramenta ocupará e isso se deve ao fato que o dispositivo irá movimentar o porta ferramentas, que no pior dos casos estará segurando a ferramenta pela sua ponta.

Neste momento percebemos a necessidade de selecionar a ferramenta que iremos utilizar no

dispositivo. Consultando o catálogo da Rossi Ferramentas Diamantadas (que se encontra no anexo. 1), obtemos um valor de comprimento da ferramenta aproximado máximo de 65 mm, no caso em que utilizássemos um porta ferramentas do tipo Norton. Vamos então adotar um tamanho de 70 mm para o dimensionamento de modo que estaremos dando uma folga de 5 mm.

Obtemos então um espaço requerido para movimentação da ferramenta igual a 167 mm na horizontal e 91.5 na vertical, que aproximaremos para 170x95 mm.

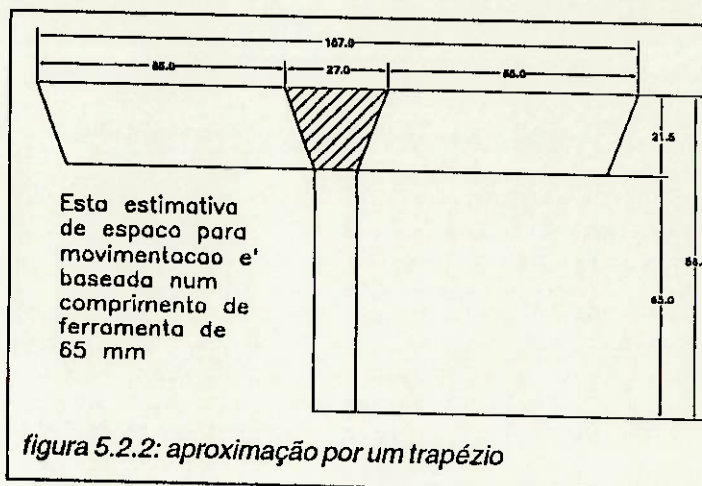


figura 5.2.2: aproximação por um trapézio

5.3 Estimativa dos elementos para pré-cálculo

Para fazer a seleção dos componentes utilizados será necessário termos uma estimativa dos pesos e volumes ocupados pelos componentes. Tal estimativa segue na figura 5.3.1.

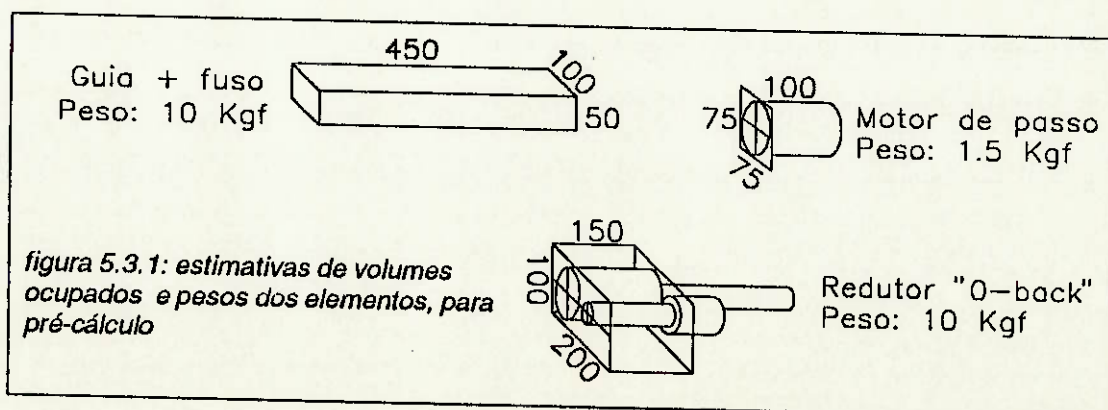


figura 5.3.1: estimativas de volumes ocupados e pesos dos elementos, para pré-cálculo

5.4 Dimensionamentos das guias e fusos

Iremos adotar o layout da figura.5.4.1 para os dimensionamentos, o qual apresenta os elementos na seguinte ordem: base, elemento vertical, elemento horizontal, elemento angular, porta-ferramentas e ferramenta.

As fórmulas utilizadas nos cálculos abaixo foram extraídas das figuras 5.4.2 e 5.4.3.

5.4.1 Valores para os cálculos

Fuso e guia verticais:

$$G_v := 22.5 \cdot \text{kgf} \quad \alpha := 1.2 \quad \text{carga no fuso}$$

$$lv_v := 95 \cdot \text{mm} \quad \text{comprimento do percurso (ida e volta)}$$

$$l_v := 10 \cdot \text{mm} \quad \text{passo do parafuso vertical}$$

Fuso e guia horizontais:

$$G_h := 10.5 \cdot \text{kgf} \quad \mu := 0.01 \quad \text{carga na guia / coef de atrito na guia}$$

$$lv_h := 170 \cdot \text{mm} \quad \text{comprimento do percurso (ida e volta)}$$

$$l_h := 10 \cdot \text{mm} \quad \text{passo do parafuso horizontal}$$

Geral do mecanismo:

$$tr_v := \frac{0.1}{\text{min}} \quad \text{taxa de repetição (ciclos/hora)}$$

$$tr_h := tr_v$$

$$t_{op} := 8 \cdot \frac{\text{hr}}{\text{dia}} \quad \text{tempo de operação diário (h/dia)}$$

$$n_d := 225 \cdot \frac{\text{dia}}{\text{ano}} \quad \text{número de dias/ano em operação}$$

$$n_a := 10 \cdot \text{ano} \quad \text{número de anos previstos para operação}$$

$$fw_f := 1.2 \quad \text{fator de serviço dos fusos}$$

$$fw_g := 1.2 \quad \text{fator de serviço das guias}$$

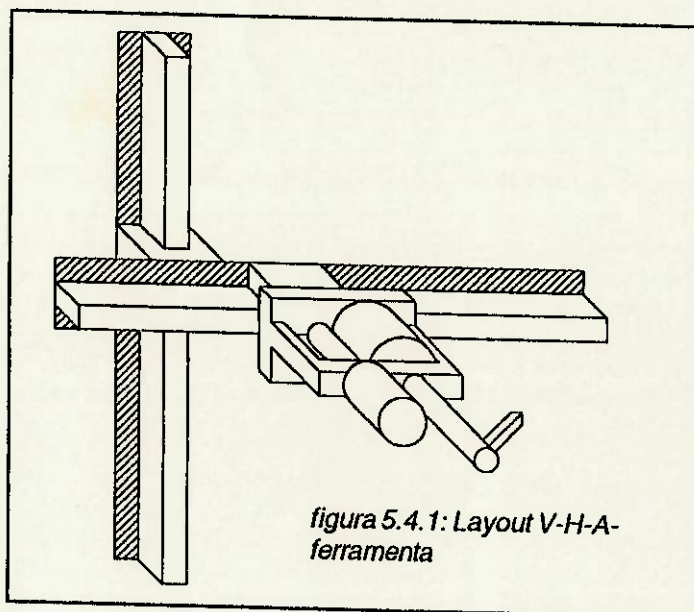


figura 5.4.1: Layout V-H-A-ferramenta

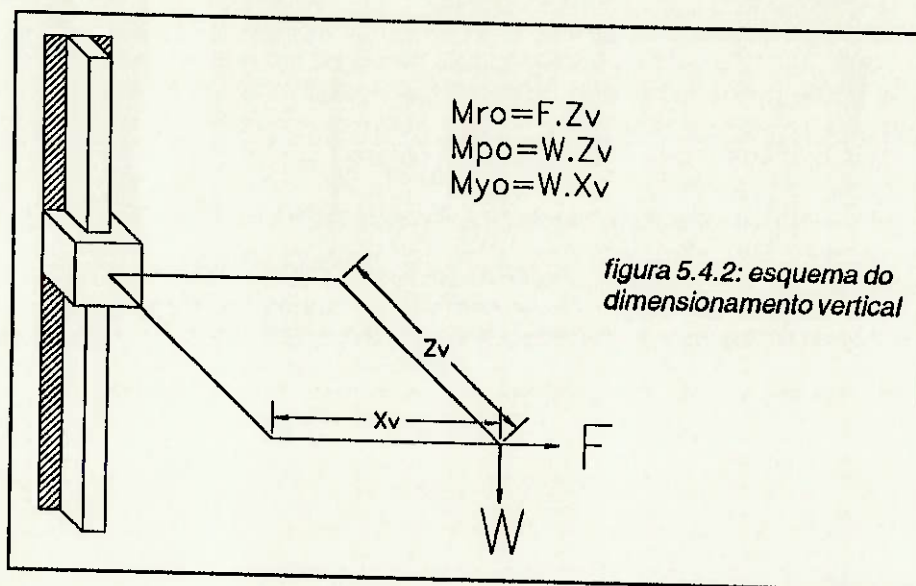


figura 5.4.2: esquema do dimensionamento vertical

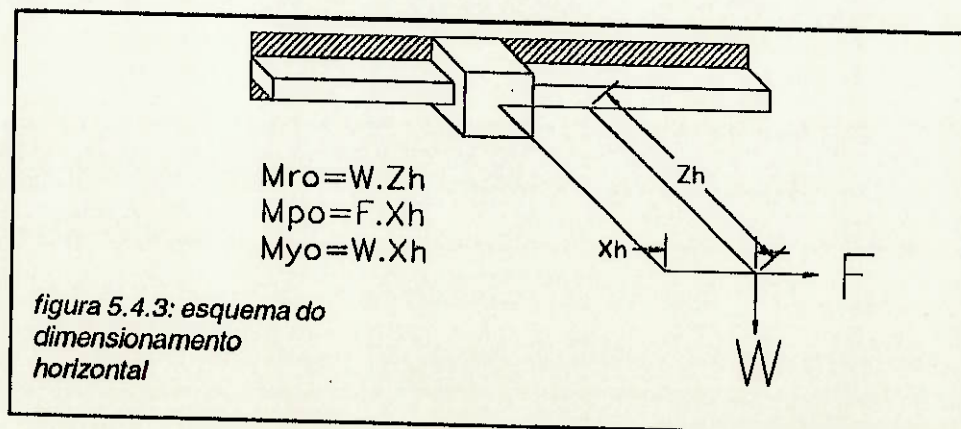


figura 5.4.3: esquema do dimensionamento horizontal

5.4.2 Dimensionamento do fuso de esferas vertical

carga: $F_v := G_v \cdot \alpha$
 $F_v = 26.46 \cdot \text{daN}$

vida: $L_v := 2 \cdot l_v \cdot t_r \cdot t_{op} \cdot n_d \cdot n_a$
 $L_v = 20.52 \cdot \text{Km}$

dynamic rated load: $Cf_v := F_v \cdot f_w \cdot f_f \cdot \left[\frac{L_v}{l_v \cdot 10^6} \right]^{\frac{1}{3}}$

$$Cf_v = 40.349 \cdot \text{daN}$$

$$Cf_v = 41.172 \cdot \text{kgf}$$

5.4.3 Dimensionamento do fuso de esferas horizontal

carga: $F_h := G_h \cdot \mu \cdot \alpha$
 $F_h = 0.123 \cdot \text{daN}$

vida: $L_h := l_h \cdot t_r \cdot t_{op} \cdot n_d \cdot n_a$
 $L_h = 18.36 \cdot \text{Km}$

dynamic rated load: $Cf_h := F_h \cdot f_w \cdot f_f \cdot \left[\frac{L_h}{l_h \cdot 10^6} \right]^{\frac{1}{3}}$

$$Cf_h = 0.181 \cdot \text{daN}$$

$$Cf_h = 0.185 \cdot \text{kgf}$$

5.4.4 Dimensionamento da guia vertical

carga estática: $C0g_v := 0$ (não há carga estática na horiz)

carga dinâmica:

$$W_v := G_v \cdot \alpha$$

$$W_v = 27 \cdot \text{kgf}$$

$$F_v := W_v \cdot 0.1$$

$$Pg_v := F_v$$

$$Pg_v = 2.7 \cdot \text{kgf}$$

$$Lg_v := 2 \cdot lv_v \cdot tr_v \cdot t_{op} \cdot n_d \cdot n_a \quad Lg_v = 20.52 \cdot \text{Km}$$

$$Cg_v := fw_g \cdot Pg_v \cdot \left[\frac{Lg_v}{50 \cdot \text{Km}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$Cg_v = 2.408 \cdot \text{kgf}$$

momentos estáticos

$$z_v := 250 \cdot \text{mm}$$

$$x_v := 350 \cdot \text{mm}$$

$$MRO_v := F_v \cdot z_v$$

$$MRO_v = 0.675 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$MPO_v := W_v \cdot z_v$$

$$MPO_v = 6.75 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$MYO_v := W_v \cdot x_v$$

$$MYO_v = 9.45 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

5.5.5 Dimensionamento da guia horizontal

carga estática:

$$C0g_h := G_h$$

$$C0g_h = 10.5 \cdot \text{kgf}$$

carga dinâmica:

$$Pg_h := G_h \cdot \alpha$$

$$Pg_h = 12.6 \cdot \text{kgf}$$

$$Lg_h := 2 \cdot lv_h \cdot tr_h \cdot t_{op} \cdot n_d \cdot n_a \quad Lg_h = 36.72 \cdot \text{Km}$$

$$Cg_h := fw_g \cdot Pg_h \cdot \left[\frac{Lg_h}{50 \cdot \text{Km}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$Cg_h = 13.642 \cdot \text{kgf}$$

momentos estáticos:

$$W_h := Pg_h$$

$$F_h := 1.1 \cdot Pg_h$$

$$z_h := 100 \cdot \text{mm}$$

$$x_h := 100 \cdot \text{mm}$$

$$MRO_h := W_h \cdot z_h$$

$$MRO_h = 1.26 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$MPO_h := F_h \cdot x_h$$

$$MPO_h = 1.386 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

$$MYO_h := W_h \cdot x_h$$

$$MYO_h = 1.26 \cdot \text{kgf} \cdot \text{m}$$

5.5 Seleção dos elementos dos sistemas verticais e horizontais

Com base nos valores calculados acima e nos catálogos da NSK (ver fotocópias anexas), escolheremos os seguintes elementos:

Elementos do sistema vertical:

- guia+fuso: Monocarrier M-Series MCM08010H10-000A
- motor de passo: Pacific Scientific E-Series E22NCLT-LNN-NS-00
- driver do motor: Pacific Scientific 5310 Microstep Driver Module

Elementos do sistema horizontal:

- guia+fuso: Monocarrier M-Series MCM05020H10-000A
- motor de passo: Pacific Scientific E-Series E22NCLT-LNN-NS-00
- driver do motor: Pacific Scientific 5310 Microstep Driver Module

Os motores de passo adotado tem 200 passos por revolução e os drivers adotados tem capacidade para microstepping de 1/125, o que nos garante 25000 passos efetivos por revolução do motor.

Como os fusos tem passo de 10mm por revolução, teremos um movimento de 0,4 µm por passo efetivo do motor. Como desejávamos uma malha com no mínimo 5.6 µm de resolução, estamos garantidos.

No item a frente que cuida da programação do dispositivo e da interface com o computador essa malha de 0.4 µm será utilizada com uma malha "virtual" de maior valor para fazer a interpolação satisfatória da trajetória da ferramenta.

Quanto a massa dos elementos, todos eles apresentam massas menores que as massas estimadas para pré-cálculo, portanto estamos at;e a favor da segurança.

5.6 Verificação dos motores quanto ao torque

Vertical (fuso de esferas MCM08 100):

$$Fm_v := G_v$$

$$l_v = 10 \cdot \text{mm} \quad \mu l := 0.005$$

$$dm_v := 15 \cdot \text{mm}$$

$$T_v := Fm_v \cdot \frac{dm_v \cdot l_v + Pl \cdot \mu l \cdot dm_v}{2 \cdot Pl \cdot dm_v - \mu l \cdot l_v}$$

OK, pois o motor escolhido aguenta torque de 1.30 N.m

$$T_v = 0.36 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Horizontal (fuso de esferas MCM05 200):

$$F_{m_h} := G_h \cdot \mu$$

$$l_h = 10 \cdot \text{mm} \quad \mu_2 := 0.005$$

$$dm_h := 12 \cdot \text{mm}$$

$$T_h := F_{m_h} \cdot \frac{dm_h}{2} \cdot \frac{l_h + \pi \cdot \mu_2 \cdot dm_h}{\pi \cdot dm_h - \mu_2 \cdot l_h}$$

$$T_h = 0.002 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

OK, pois o motor
escolhido aguenta
torque de 1.30 N.m

5.7 Movimento Rotativo

5.7.1 Seleção dos componentes

Para o movimento rotativo não necessitaremos de uma resolução de passos muito elevada pois um erro α no posicionamento angular da ferramenta representará pouco pois trata-se de um erro de cosseno. Ou seja, um erro no posicionamento angular refletirá perpendicularmente no perfil com um valor de (comprimento da ferramenta) $\cdot (1 - \cos \alpha)$. Vamos calcular o número de passos que necessitaremos:

$$\text{erro}_{\text{ang}} := 5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{mm} \quad (5.66 \mu\text{m} \text{ com segurança})$$

$$\text{compr}_{\text{ferramenta}} := 65 \cdot \text{mm}$$

$$\alpha := \arccos \left[1 - \frac{\text{erro}_{\text{ang}}}{\text{compr}_{\text{ferramenta}}} \right]$$

$$\alpha = 0.012 \quad (\text{em radianos})$$

$$\alpha = 0.711 \cdot \text{deg} \quad (\text{em graus})$$

$$\text{num}_{\text{passos}} := 2 \cdot \frac{\pi}{\alpha}$$

$$\text{num}_{\text{passos}} = 506.563$$

É bom lembrar que para aumentar a rigidez do eixo que segura a ferramenta nós estamos utilizando um redutor por tambor e que portanto teremos a resolução do motor+driver aumentadas por essa redução.

Além disso, não necessitaremos também de elevado torque de acionamento pois praticamente não há esforços agindo na ferramenta (os esforços de corte são muito pequenos devido a pequena profundidade de corte e devido à pequena velocidade de dressagem).

Desse modo, escolheremos o seguinte sistema de motor e driver:

- motor de passo: Pacific Scientific E-Series E22NCLT-LNN-NS-00
- driver do motor: Pacific Scientific 5210 Full/half-step Driver Module
- redução por tambor: 4 vezes

Como o motor tem 200 passos por revolução, o driver permite half-step e o redutor é de 4 vezes, teremos, sem considerar o redutor, 1600 passos por revolução, o que é aproximadamente 200% mais do que os 506 necessários. Com 1600 passos por revolução teremos 0.225 graus por passo.

5.7.2 Determinação das dimensões físicas do redutor

O motor de passo tem um eixo de diâmetro 0.25 polegadas (6.35 mm), portanto adotaremos os seguintes diâmetros dos tambores para a redução:

- tambor motor: 25 mm
- tambor movido: 100 mm

De acordo com os dados sobre os redutores por tambor Roto-Lok da Sagebrush Technology (ver anexo.2), teremos que os cabos de aço devem ter diâmetro máximo de 1.25 mm e que o torque máximo que esse redutor suportará, se tiver 10 cabos, será de:

$$D_{\text{red}} := 4 \qquad R_{\text{red}} := 4$$

$$T := 81 \cdot \frac{D_{\text{red}}^{3.16}}{R_{\text{red}}^{2.23}} \cdot \text{lbf} \cdot \text{in}$$

$$T = 33.222 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Como os esforços serão muito menores que isso (o motor só consegue fornecer 1.3 N.m), podemos usar uma versão com apenas 4 cabos (que suporta 2.5 vezes menos torque) e não temos com o que se preocupar.

5.7.3 Porta-ferramentas

O porta ferramentas será uma extensão do eixo do redutor "zero-backslash". Na figura.5.7.3.1 vemos que para um rebolo de 10 polegadas (valor máximo para a máquina que estamos utilizando) e para uma distância mínima de 20 mm entre o redutor "zero-backslash" e a proteção do rebolo, teremos que o comprimento mínimo do porta-ferramentas é de 295 mm (220mm + comprimento do motor de passo).

A ferramenta utilizada será uma com rosca de modo a facilitar a sua fixação e ajuste. O método de fixação será por rosqueamento e contra-porca, e o método de ajuste da distância será pelo uso de espaçadores entre o fundo da mesma e o porta ferramentas. Veja figura.5.7.3.2 para mais detalhes.

Durante a operação da máquina será necessário entrar-se o comprimento em balanço da ferramenta para que o programa possa calcular corretamente a trajetória da mesma. Esse comprimento deve ser medido entre a ponta da ferramenta e uma pequena superfície plana no porta ferramentas para tal (veja desenho.2). O programa de operação se encarregará de transformar esse valor no comprimento em balanço real.

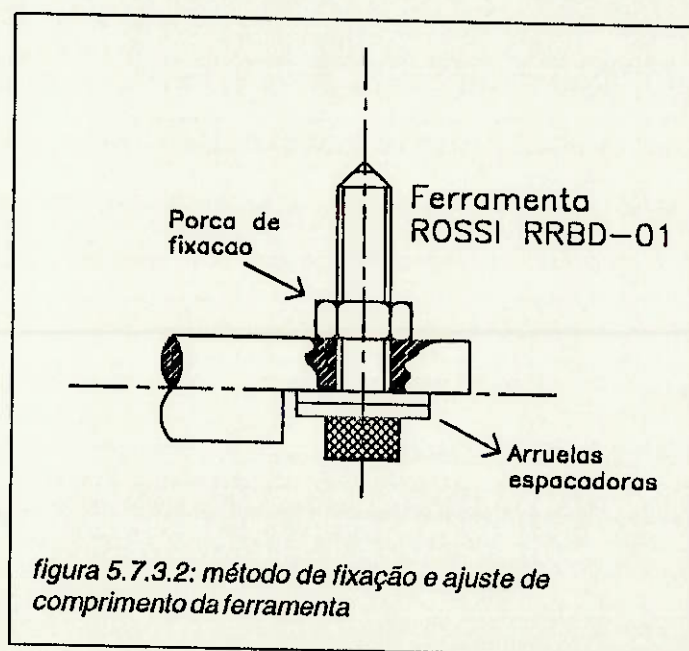
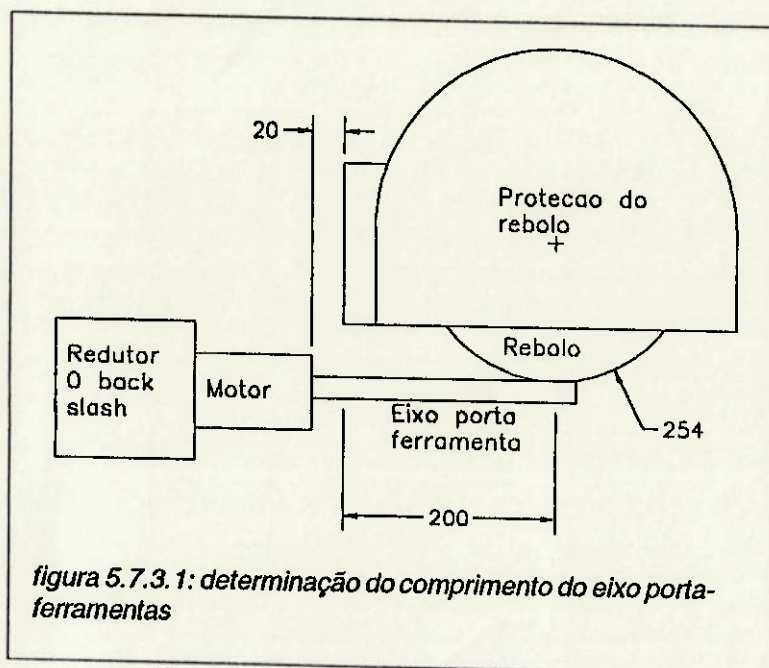
5.7.4 Mancais do eixo de saída

O eixo de saída do redutor "zero-backslash" deve ser rígido e sem folga na direção axial, portanto é muito importante a escolha e montagem dos mancais que o suportarão.

Como nossa aplicação não está sob cargas severas nem velocidades severas, podemos escolher um rolamento de baixa capacidade. Para garantir que não haverá folga axial utilizaremos um par de rolamentos de contato angular montados "back-to-back", com pré-carga. Supondo um diâmetro do eixo de saída igual a 20 mm, escolheremos os rolamentos:

- SKF, 7204B, cujas medidas se encontram anexo.5.

No desenho.3 se encontra um desenho do porta ferramentas (continuação do eixo de saída do redutor) mostrando detalhes construtivos e como deve ser feita a medição do comprimento da ferramenta, por um paquímetro (ou micrômetro) devidamente preparado.



5.8 Zero Máquina

Como o nosso dispositivo apresenta uma movimentação baseada em um sistema de coordenadas é necessário definir uma origem para esse sistema e também definir o zero-máquina, que é o ponto para o qual a máquina deve se dirigir quando for acionada inicialmente. Quando liga-se a força na máquina ela pode estar em qualquer ponto e como o nosso sistema é de malha aberta é impossível para o controle saber qual é esse ponto. Desse modo, torna-se necessário incluir elementos de hardware que identifiquem algum ponto no espaço, o qual chamamos de zero-máquina.

O método que adotaremos para identificar o zero máquina será o uso de microswitches colocados em posições de extremos de curso, que serão acionados quando os motores de passo empurrarem o "carro" do monocarrier contra os mesmos.

O microswitch do zero-máquina vertical se localizará no ponto inferior máximo de posicionamento do redutor "zero-backslash". O microswitch horizontal se localizará no ponto mais à esquerda de posicionamento do redutor, supondo o observador olhando a máquina da ponta do porta-ferramentas para o fuso vertical. O microswitch angular se localizará na posição angular em que a ferramenta esteja apontada da esquerda para a direita, supondo a convenção esquerda/direita já adotada no posicionamento horizontal.

Quanto for ligada a máquina o programa de controle moverá a ferramenta até esses pontos de zero-máquina, através da monitorização das entradas digitais da placa de controle e desse modo, quando for atingido o zero-máquina, saberemos onde a ferramenta se encontra em relação ao sistema de coordenadas da máquina.

A "procura do zero-máquina" se dará sempre na ordem: vertical, angular, horizontal, de modo a nunca termos uma colisão da ferramenta ou do porta-ferramentas com o rebolo ou a máquina durante a "procura do zero-máquina".

Veja no desenho.3 (desenho de conjunto da máquina) a posição dos microswitches de zero-máquina.

5.9 Controle do dispositivo

5.9.1 Microcomputador e interface

No controle por microcomputador seria interessante o uso de alguma plataforma comum, de fácil acesso ao usuário e baixo custo. Os micros baseados em microprocessadores da família 80x86 são, hoje em dia, os que mais satisfazem esses requisitos.

Mais especificamente, um microcomputador com microprocessador 8086 será suficiente para o controle do dispositivo pois não necessitaremos de processamento muito veloz além de o programa executado ser em linguagem C compilada.

Os micros mais conhecidos como XTs são o exemplo mais comum, barato e de fácil acesso de micro 8086 atual. Um XT com apenas um drive e a placa de interface será mais que suficiente para controlar o dispositivo.

A placa de interface a ser utilizada será uma placa SMC925/06 (ver anexo.6), que encaixa em um dos slots do XT e nos provém de 8 saídas e 2 entradas. As saídas são do tipo TTL com sinal de +0V a +12V (compatíveis com os drivers Pacific Scientific 5310 e 5210).

Como só temos 2 entradas porém 3 microswitches é necessário adicionar um pequeno circuito combinatório para gerenciar o fluxo de dados. O circuito combinatório, comandado pela saída 7, escolherá qual microswitch (entre o do movimento horizontal e o do rotativo) estará ligado à entrada 2. A entrada 1 estará sempre ligada ao microswitch do movimento vertical.

5.9.2 Programa de controle

O programa de controle, que se encontra listado no anexo.7, foi escrito em linguagem C com o uso do compilador Turbo C da Borland International. É importante observar que para acionar a interface o programa faz uso de instruções específicas ao IBM-PC (que não são padrão do ANSI-C) logo se for utilizado outro compilador para criar o programa executável será necessário achar a equivalente dessas instruções. Veja o fim da listagem para maiores detalhes.

O programa funciona segundo o seguinte princípio: os movimentos tem uma resolução de $0.4\mu\text{m}$ porém precisamos de apenas $5.66\mu\text{m}$ portanto o programa utiliza uma "malha virtual" de valor máximo de $4\mu\text{m}$ e interpola linearmente entre

dois pontos dessa malha para conseguir uma trajetória satisfatória. Quando dizemos que a "malha virtual" tem valor máximo de $4\mu\text{m}$ é porque se o próximo ponto obtido na trajetória for mais distante que $4\mu\text{m}$ do ponto atual, recalcula-se o novo ponto com um incremento menor para o parametro do qual a curva é função. Já se o ponto for menos distante que $4\mu\text{m}$ do ponto atual então prossegue-se com a geração da curva.

O programa tem início com a busca do zero-máquina. O usuário deve fornecer a função parametrizada que definirá o perfil a ser usinado e então deve ser compilado o programa. Essas funções devem ser definidas como:

```
double x(double)
double y(double)
double ang(double)
```

em alguma parte do programa.

5.10 Estrutura

A estrutura da máquina, como pode ser observado no desenho.3, é composta de duas peças: a "base" e a "torre", as quais devem ter espessura de 20mm e serem feitas de aço ABNT 1045, para garantir a rigidez da mesma. A união entre as duas peças deve ser feita por pinos guia e parafusos M6.

Na peça base devem ser executados furos para pinos e parafusos visando a fixação de dispositivos de apoio, como o indexador da engrenagem, sobre a base. A fixação desse dispositivo na base do dispositivo de dressagem garantirá o posicionamento preciso entre os dois dispositivos, tornando desnecessário ajustes na fixação, como seria necessário caso os dois dispositivos fossem fixados separadamente.

Na própria estrutura devem ser fixados os drivers de motor de passo (5310 e 5210), que não é problema devido ao seu tamanho diminuto. Os microswitches devem ser fixados, por pequenos braços de posicionamento, na estrutura também. No desenho.3 está mostrado apenas a fixação do microswitch vertical, mas os outros são fixados nas suas respectivas estruturas-base de forma análoga.

6. Bibliografia

COLANGELO, V.J., HEISER, F.A. - "Analysis of Metallurgical Failures", John Wiley & Sons Inc., New York - U.S.A., 1974

KAGOHARA, Myrna Y., PAIS, Valéria A., UEDA, Roberto Y.Y., YAMADA, Alexandre, "PMC-525 Mecânica de precisão - Fusos de Esferas Recirculantes", Depto. Eng Mecânica EPUSP, São Paulo, 1992

LOPES, A. - "PMC-502, Anotações de Aula", Depto. Eng Mecânica EPUSP, São Paulo, 1992

MAAG, M. - "Maag Gear Book", Fabag, Zurich - Switzerland, 1963

OLIVEIRA, Nelson Campos Gil de - "Engrenagens", Depto. Livros e Publicações do Grêmio Politécnico da EPUSP, São Paulo, 1965

SCHLESINGER, G. - "Testing Machine Tools", 6th edition, the Machinery Publishing Co. Ltd, USA

Catálogos:

SKF, "Catálogo Geral", SKF do Brasil, Brasil, 1982

PACIFIC SCIENTIFIC, "Hybrid Step Motor Systems", Pacific Scientific, USA

NSK Ltd, "Standard Series / Precision Machine Parts / Linear Motion Products", NSK Ltd., Japan, 1990

NSK Ltd., "Precision Machine Parts / Linear Motion Products / Ball Screws / Ball Screw Support Bearings / Rolling Guides", NSK Ltd., Japan, 1987

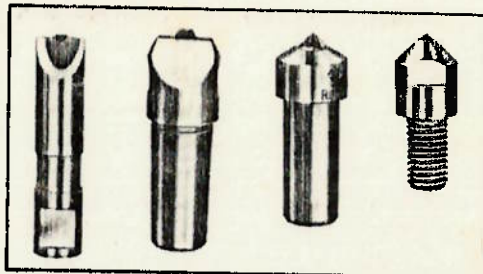
MELLO S.A., "Instruções de operação da retificadora hidraulica plana transversal LPT-2", Mello S.A. Máquinas e equipamentos, São Paulo - Brasil

ANEXO.1

CATÁLOGO DE FERRAMENTAS

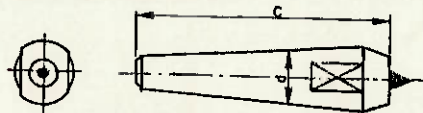
FERRAMENTAS COM DIAMANTE NATURAL
FABRICAÇÃO STANDARD CONFORME NORMA DIN

DIÂMETRO DO REBOLO: EM mm.	50	75	100	125	150	200	225	250	300	325	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
EM POLG.	2"	3"	4"	5"	6"	8"	9"	10"	12"	13"	14"	16"	18"	20"	22"	24"	26"	28"	30"	32"
PESO DO DIAMANTE EM QUILATES	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
Nº DA FERRAMENTA	000	00	0	1	2	3	4	5	5 A	5-B	6	6 A	6 B	7	8	9	9-A	10	11	12



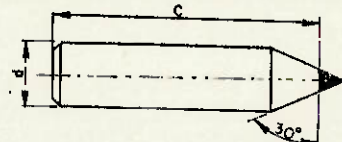
ESCOLHA NA TABELA O RETIFICADOR CORRETO EM FUNÇÃO DO REBOLO A SER RETIFICADO

RETIFICADORA CONE MORSE



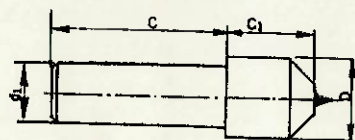
CONE MORSE	c	Ø d	REF. ROSSI
0	32	9,05	RCMO - 9,05
1	50	12,7	RCM1 - 12,7

RETIFICADOR PARALELO OU CENTERLESS



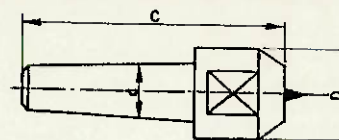
c	d	REF. ROSSI
60	10	RPC - 10
60	12,7	RPC - 12,7

REFRICADOR TIPO NORTON



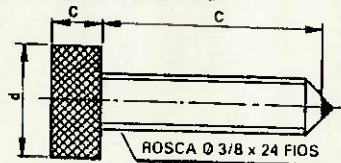
C	c1	D	d1	REF. ROSSI
25,04	12,7	12,7	9,62	RNO - 12,7
45	15,0	15,0	10,0	RNO - 15,0

RETIFICADOR CONE MORSE COM CABECA



CONE MORSE	D	d	c	REF. ROSSI
0	14,0	9,05	42,0	RCMO - C - 9,05
1	18,0	12,7	57,0	RCM1 - C - 12,7

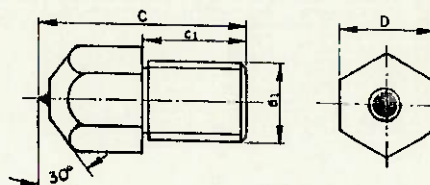
AFRICADOR ROSQUEADO



Black & Decker	C1	c	d	REF. ROSSI
	8,0	49,0	12,7	RRBD - 01

OBS.: As ferramentas podem ser fornecidas conforme pedido, com hastes de qualquer diâmetro ou comprimento. Hastes especiais são fabricadas sob desenho ou amostra.

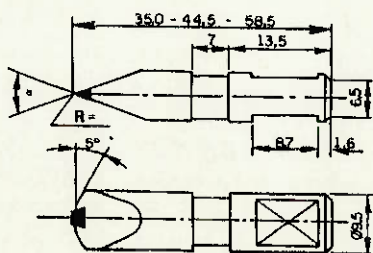
RETIFICADOR ROSQUEADO



HEALD	C	c1	D	d1	REF. ROSSI
	19	10	10	M8x0,75	RRHE - 02
	19	10	8	M6x1	RRHE - 03

FERRAMENTAS COM DIAMANTE NATURAL
LAPIDADADOS OU TORNEADOS PARA PERFIL

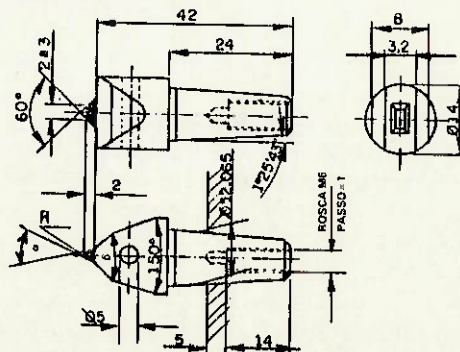
RETIFICADOR DIAFORMA



γ	R	REF. ROSSI
40°	0,125	RLD - 4-125
40°	0,250	RLD - 4-250
60°	0,125	RLD - 6-125
60°	0,250	RLD - 6-250
60°	0,500	RLD - 6-500

FABRICAÇÃO STANDARD E CONFORME
NORMA DIN

RETIFICADOR FORTUNA

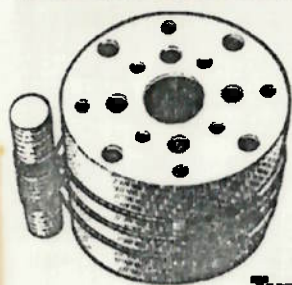


α	R	β	REF. ROSSI
40°	0,2	64°	RLF - 40 - 0,2 - 64
55°	0,2	64°	RLF - 55 - 0,2 - 64
55°	0,3	64°	RLF - 55 - 0,3 - 64
55°	0,4	64°	RLF - 55 - 0,4 - 64
55°	0,5	64°	RLF - 55 - 0,5 - 64
70°	0,4	80°	RLF - 70 - 0,4 - 80

ANEXO.2

INFORMAÇÕES SOBRE REDUTORES "ZERO-BACKSLASH" TIPO ROTO-LOK DA SAGEBRUSH

Understanding the Roto-Lok[®] rotary drive



This information provides an opportunity to see the effect of varying attributes such as size and drive ratio on the torque, torsional stiffness and deflection of Roto-Lok drives.

Typical Roto-Lok drives

Ratio	Drum Dia.		
	8"	16"	24"
10	320	3,240	11,000
15	136	1,125	4,850
20	79	640	2,170

Torque
lb-in

Ratio	Drum Dia.		
	8"	16"	24"
10	2.06×10^6	21.9×10^6	75.9×10^6
15	1.01×10^6	9.54×10^6	42.0×10^6
20	0.58×10^6	6.33×10^6	20.8×10^6

Stiffness (at low load)
lb-in/radian

Ratio	Drum Dia.		
	8"	16"	24"
10	34.7	35.3	34.2
15	26.5	26.2	31.7
20	26.0	37.5	28.9

Deflection @ 10% Load
 μ radians

A few minutes study of this typical performance data will indicate the potentials for the Roto-Lok drive in some of your applications.

Each of these drives is designed with 10 cables. This number of cables provides superb drive smoothness. If increased torque capacity or torsional stiffness is required additional cables may be added.

One of the first things that becomes apparent is that the torque capability increases dramatically with increasing drum diameter. At the 10:1 ratio the torque goes from 320 lb-in to 3240 lb-in by doubling the diameter and to 11,000 lb-in by tripling it. This extraordinary gain is due to several factors. First, doubling the radius gives twice the torque for the same tangential load.

$$T = 81 \frac{D^{3.16}}{R^{2.23}}$$

Doubling the capstan also allows doubling the cable diameter which increases its capacity by a factor of four. With the larger cable diameter the spring tension can be increased, raising the drive friction and thus providing even more torque capability. The formula shown provides a convenient way to estimate torque capacity as a function of drum diameter and drive ratio in the range of sizes and ratios in the table.

Torsional stiffness increases even more dramatically with increasing diameter. For a given torque load doubling the radius halves the tangential load and deflection; this deflection acts over twice the lever arm (radius) for a torsional stiffness gain of four. In addition, doubling the capstan diameter permits doubling the cable diameter (quadrupling its cross-sectional area) for a cable stiffness gain of four. This total stiffness gain of sixteen is partially offset by practical geometric considerations (e.g. an increase in the spacing between cable and drum to ease assembly of larger cables) which increases the unsupported cable free span. The net gain in stiffness for doubling the drum diameter is a factor of 10. The formula shown will aid in estimating torsional stiffness.

$$K = 1.39 \times 10^5 \frac{D^{3.32}}{R^{1.82}}$$

It is important to note that the Roto-Lok drive is stiffest at zero load. The drive is stiffest at zero load because as soon as the cable touches either the capstan or the drum friction causes the cable to begin to pick up stiffness from the metal part. At zero or low load there is only a short zone where the cable makes the transition from where it is free and unsupported to where it has enough friction to become part of the drum. As the torque on the system is increased more of the cable length is effected and thus the system becomes more compliant.

A few minutes review of these charts may provide some surprises. This is partly due to the cables selected for each case. All these designs are based on high quality commercially available cables. As some cables sizes are not available compromises in cable size were made in some instances. To obtain

long cable life it is essential to use a cable diameter that is no larger than 5% of the capstan diameter. This allows the cable to work over the capstan millions of cycles with negligible fatigue. In the examples shown the drum diameter is fixed so the capstan diameter becomes smaller as the ratio increases. As all these examples are based on 10 cables the smaller cables used on higher ratios lead to lower torque capacity.

SACERRUSH
TECHNOLOGY

12108 Towner Avenue, NE
Albuquerque, NM 87112 USA
Phone (505) 299-6623
Fax (505) 298-2072

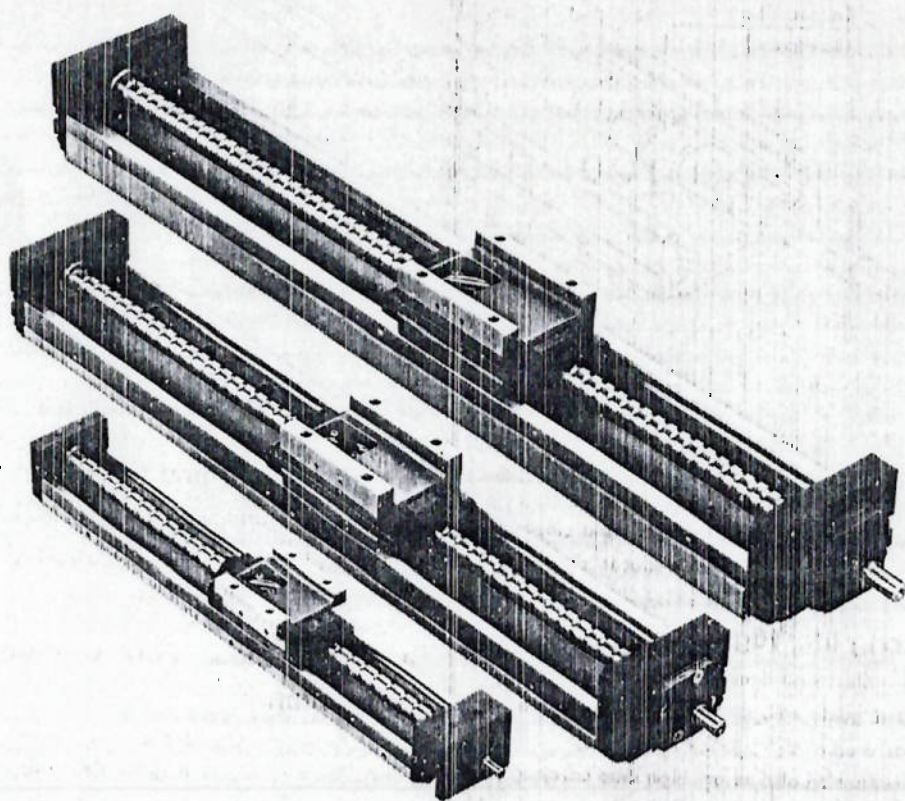
ANEXO.3

CATÁLOGOS DA NSK

NSK

COMPACT ACTUATORS "MONOCARRIER" M-SERIES

NEW PRODUCT



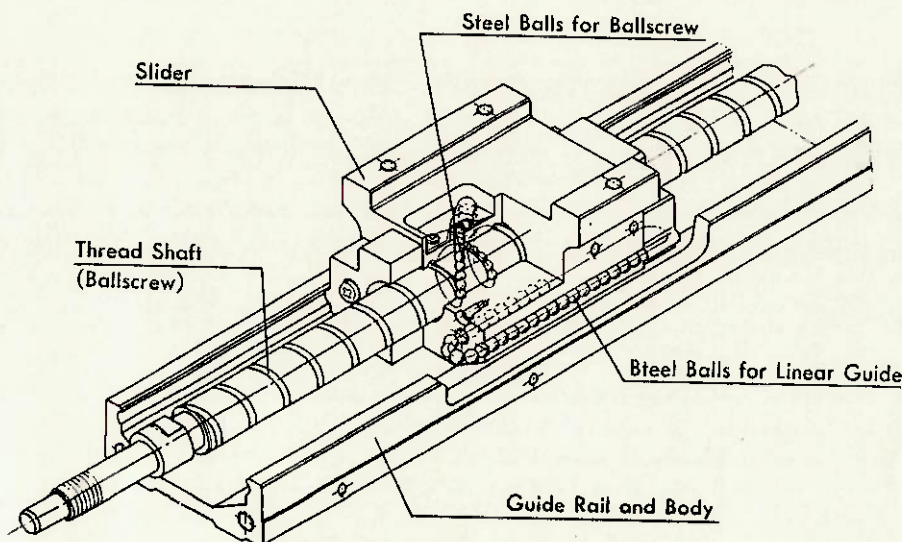
COMPACT ACTUATORS "MONO CARRIER"

Construction

The base itself is cold drawn material and has ball tracks for linear guide. And the slider consists of ballnut of the screw and linear guide carriage.

The both sides of the screw shaft are supported by NSK's ballscrew support bearing unit.

This basic design is patent pending.



Features

● Easy selection and mounting

Because of one unit construction with ballscrew (Feed) and Linear guide (guide); Design and assembly work can be reduced greatly.

● High accuracy, Long life, High reliability

By one piece processing of ballnut and linear guide carriage, and combined mounting base and guide rail, high accuracy and free-alignment function will be assured.

Antifrictional component combination also assure high load carrying capacity and long life.

● Light weight and Compact

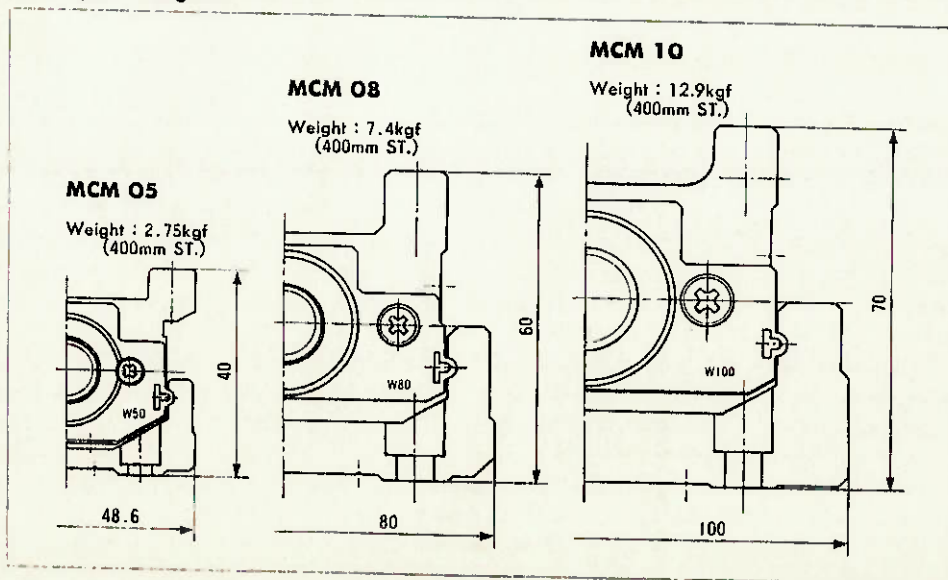
One unit configuration has realized Minimum cross section dimension. Therefore, Weight can be reduced one half compared to conventional uni-axis table.

● High stiffness, Four way equally loaded construction

Ball track is satisfactory Gothic-arch design. It gives vertically and laterally equal load capacity. The proper preload in linear guide will assure high stiffness and smooth operation.

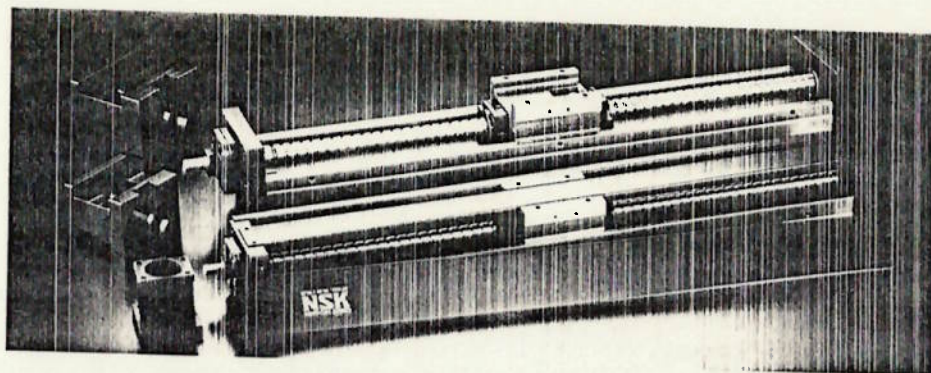
● High rigid rail construction

Cross section of wide concave shape rail gives light weight and high rigid design. You can keep minimum deflection in even case of cantilever support.



Accuracy Standard

Grade	High (H)		
Stroke : cm	Repeatability	Running Accuracy	Backlash
10	±0.010	0.014	0.020
15			
20			
25			
30		0.016	
40			
50			
60		0.020	
80	0.023		



Identification Number

The identification number is composed of following basic dimensions.

MC M 08 040 H 10 - 000A

Monocarrier

Type Code [M:M series
C:C series]

Nominal (Rail Width: 10mm unit)

Stroke (10mm unit)

(Travel)

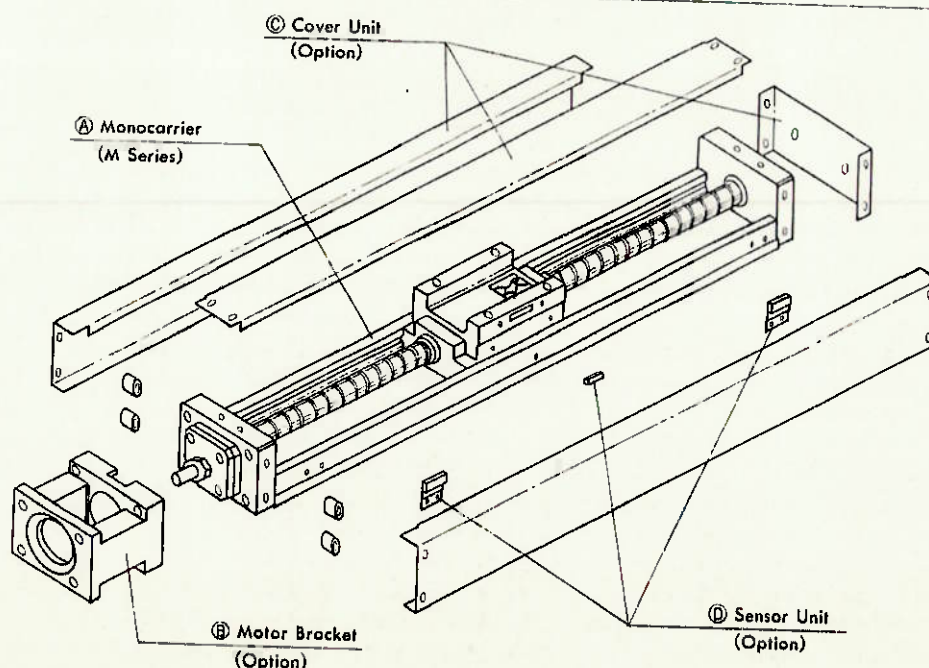
Serial No.

Ballscrew Lead (mm)

Precision Grade H: High grade

Optional Parts

Optional parts are also available. Please consult the nearest branch office.



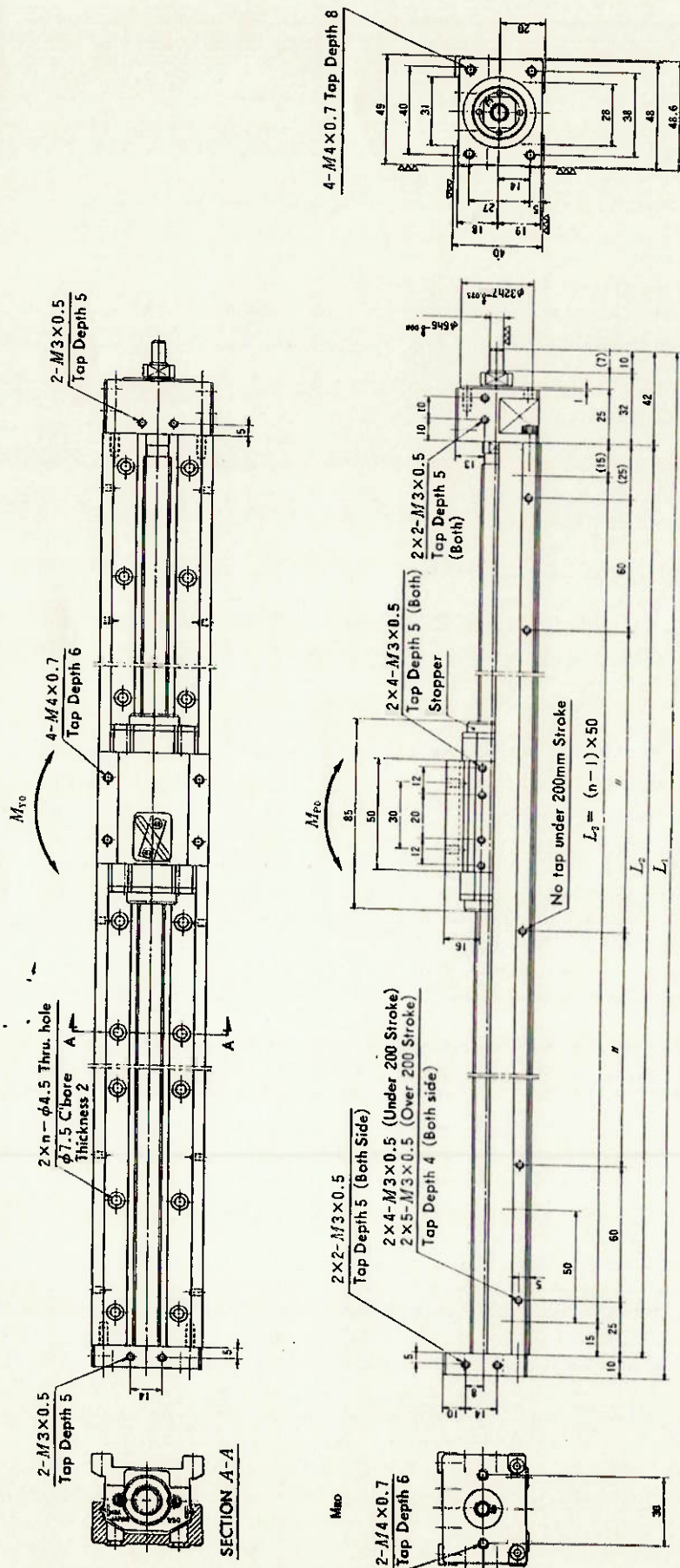
Optional parts are as follows : (B) Motor Brackets : Please show motor mounting dimensions used or type of motor used (Maker/Model).
(C) Cover units : Upper and Side covers are available. (D) Sensor Units : Sensor and it's mounting parts are available.

MONOCARRIER M-Series

MODEL MCM05

Grade (H)

PATENT PENDING



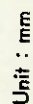
Stroke (mm)	Ballscrew Lead (mm)	Model No.	Dimension (mm)			Mount Hole n	GD ² (kgf·cm ²)	Weight (kgf)
			L ₁	L ₂	L ₃			
100	10	MCM05010H10-000A	282	230	200	5	0.16	1.6
150	10	MCM05015H10-000A	332	280	250	6	0.18	1.8
200	10	MCM05020H10-000A	382	330	300	7	0.20	2.0
250	10	MCM05025H10-000A	432	380	350	8	0.22	2.2
300	10	MCM05030H10-000A	482	430	400	9	0.25	2.3
400	10	MCM05040H10-000A	582	530	500	11	0.29	2.7
500	10	MCM05050H10-000A	682	630	600	13	0.34	3.1
600	10	MCM05060H10-000A	782	730	700	15	0.39	3.5

Ball Screw Specifications			
Shaft dia. (mm)	12		
Lead (mm)	10	20	
No. of circuits	1.5x1	1.5x1	
Basic load rating (kgf)	Dynamic C _a	230	230
	Static C _{0a}	385	385
Axial clearance (mm)	0.020		

Linear Guide Specifications			
Basic load rating (kgf)	Dynamic C	740	
	Static C ₀	1110	
Preload (kgf)		7	
Static moment load rating (kgf·m)	M _{HO}	23	
	M _{HO}	9	
	M _{HO}	9	

Note : Grease is prepacked.

PATENT PENDING



Ball Screw Specifications			
Shaft dia. (mm)	15		
Lead (mm)	10 20		
No. of circuits	2.5×1 1.5×1		
Basic load rating (kgf)	Dynamic C _a	720	465
	Static C _{0a}	1300	795
Axial clearance (mm)	Max. 0.020		

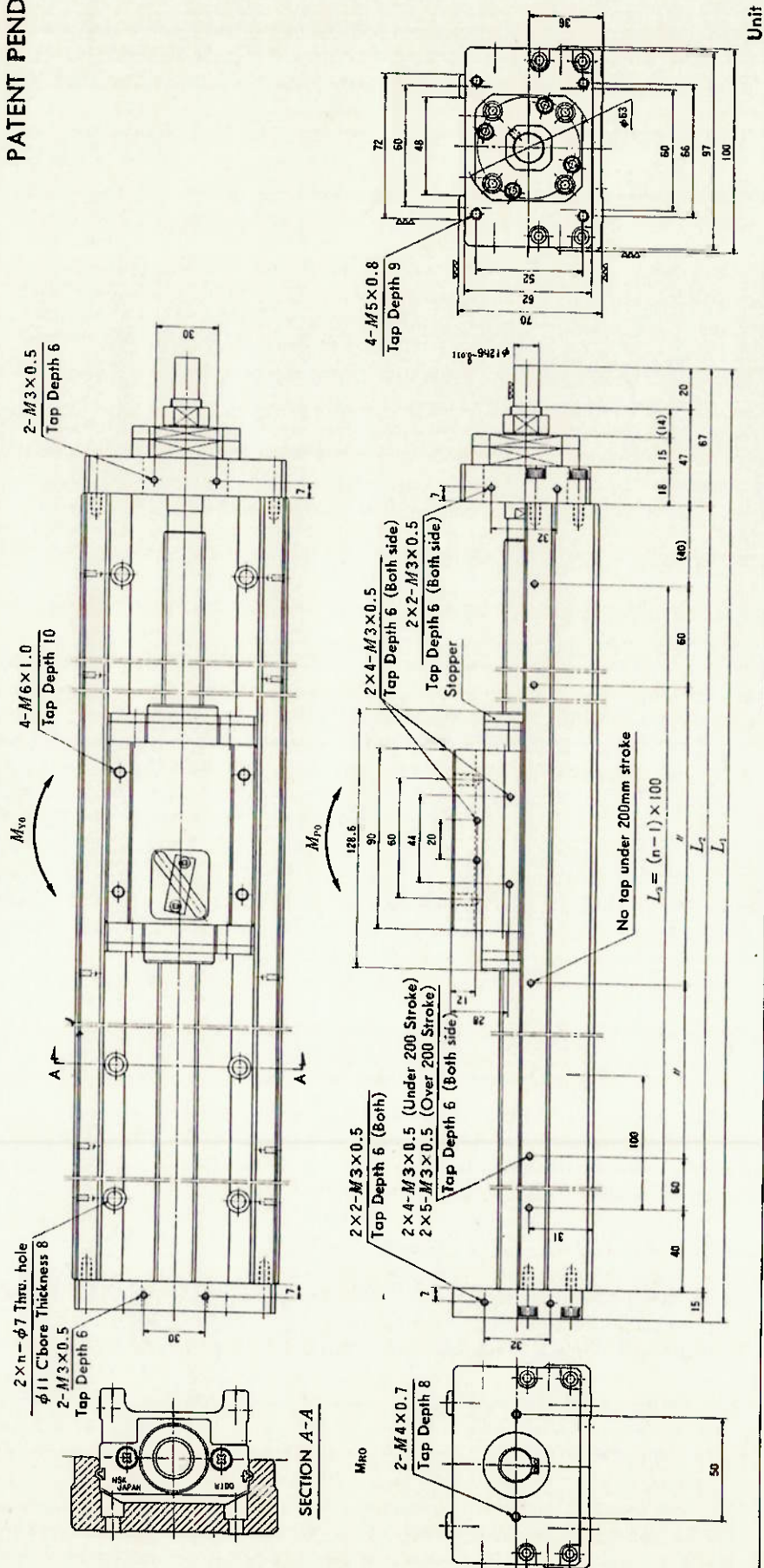
Linear Guide Specifications		
Basic load rating (kgf)	Dynamic C	1460
	Static C_0	2320
Preload (kgf)		15
Static moment load rating (kgf·m)	$M_{k\omega}$	74
	$M_{\theta\theta}$	28
	$M_{\theta\phi}$	28

Note : Grease is prepacked.

MODEL MCM10

Grade (H)

PATENT PENDING



Unit : mm

Stroke (mm)	Ballscrew Lead (mm)	Model No.	Dimension (mm)			Mount Hole	GD ² (kgf·cm ²)	Weight (kgf)
			L ₁	L ₂	L ₃	n		
200	10	MCM10020H10-000A	462	380	300	4	1.73	9.5
300	10	MCM10030H10-000A					2.09	
	20	MCM10030H20-000A	562	480	400	5	2.45	11.2
400	10	MCM10040H10-000A					2.45	
	20	MCM10040H20-000A	662	580	500	6	3.04	12.9
500	10	MCM10050H10-000A					2.81	
	20	MCM10050H20-000A	762	680	600	7	3.40	14.6
600	10	MCM10060H10-000A					3.17	
	20	MCM10060H20-000A	862	780	700	8	3.76	16.3
800	10	MCM10080H10-000A					3.89	
	20	MCM10080H20-000A	1062	980	900	10	4.48	19.7

Ball Screw Specifications			
Shaft dia. (mm)	20		
Lead (mm)	10	20	
No. of circuits	2.5 x 1		
Basic load rating (kgf)	Dynamic C_0	1110	720
	Static C_{0s}	2210	1290
Axial clearance (mm)	0.020		

Note : Grease is prepacked.

Linear Guide Specifications		
Basic load rating (kgf)	Dynamic C	2000
	Static C ₀	3000
Preload (kgf)		20
Static moment load rating (kgf·m)	M _{R0}	119
	M _{P0}	43
	M _S	43

ANEXO.4

CATÁLOGOS PACIFIC SCIENTIFIC

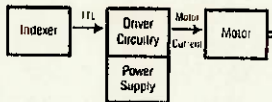
MODEL 5210

PC board mountable driver module 2.5A/12-40V per phase

Continuous rated torque range:
86 to 491 oz-in. at 50 steps/sec

- Economical, PC board mountable
- Full/half step operation
- Adjustable motor current (2.5A/phase maximum)
- Overtemperature and short circuit protection
- Compact (0.85" x 2.65" x 3.40")

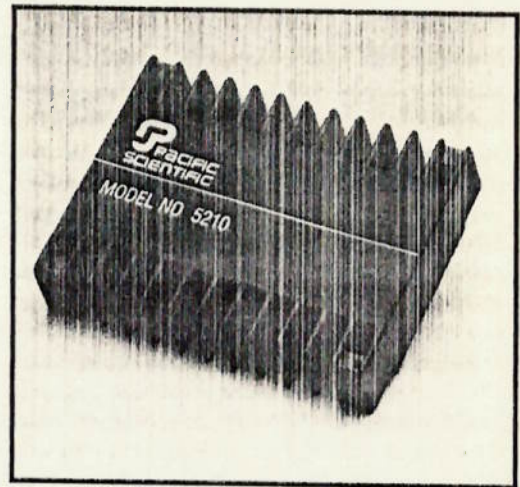
PC board mountable module includes bipolar chopper driver circuitry. Operates from DC power sources.



The economical Model 5210 is a board level, constant current, full bridge, bipolar chopper MOSFET driver. Ideal for use with low to medium power step motors, this compact driver module is readily interfaced to a microprocessor.

This bipolar driver delivers the full torque available from a motor—up to 30% more torque than a unipolar driver, which utilizes only half the motor winding.

The Model 5210 produces output voltage equal to that of a user supplied 12-40 Vdc unregulated power source. A 5 Vdc logic supply is also required.



OPERATING FEATURES

- Constant current, full bridge, bipolar chopper MOSFET drive
- Jumper (leadwire) selectable full/half step operation

PROTECTION

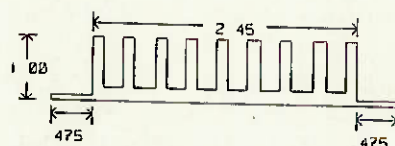
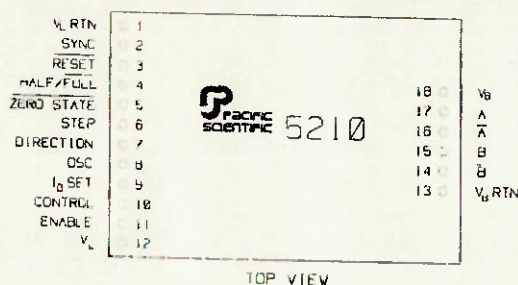
- Output short circuit protection:
 - Phase-to-phase, phase-to-ground, phase-to-supply
- Overtemperature shutdown

GENERAL . . . Model 5210

Input power	12-40 Vdc, 5 Vdc logic
Output current per phase	2.5A (maximum) adjustable to below 2.5A with addition of resistor
Output voltage	12-40 V
Input format (step and direction)	TTL/CMOS compatible
Maximum input pulse rate	20,000 pulses/sec—full step (6,000 RPM) 20,000 pulses/sec—1/2 step (3,000 RPM)
Minimum input pulse width	500 nS
Motor current disable input	Logic 0 shuts down the output
PWM chopping frequency	17 kHz (inaudible)
Operating temperature	0° to 50°C ambient (Heat sink required for operation above 35°C)
Storage temperature	-40°C to 85°C
Relative humidity	10% to 90% (noncondensing)
Weight	6.7 oz.

PINOUT DIAGRAM/DIMENSIONS

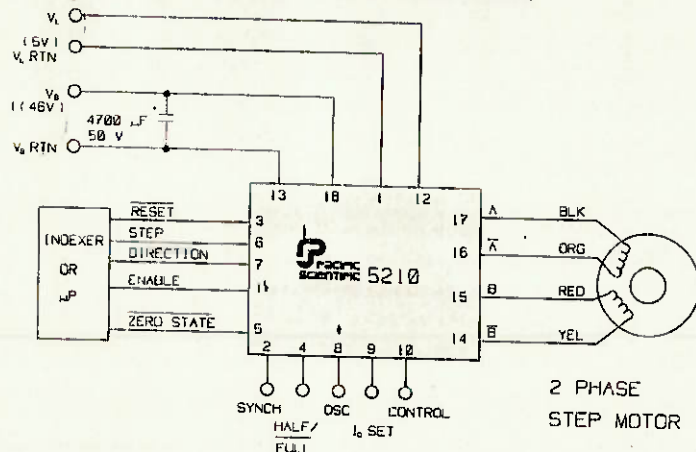
mm	21.6	x	63.3	x	86.4
in.	.85		2.65		3.40



Note: pinouts as seen from top view

Optional heat sink (front view) mounts on top of 5210
Order separately, part number 172-521500-001

TYPICAL CONNECTION DIAGRAM



HOW TO ORDER . . . 5210 Recommended systems

Order motor and driver as separate model numbers. E Series motors, recommended for systems use, are equipped with MS type power connectors.

Systems performance Page 46

Systems motors Page 48

Cabling and accessories Page 103

1.2 Other System Components

Overview

The other components that, along with the driver comprise a complete motor control system are:

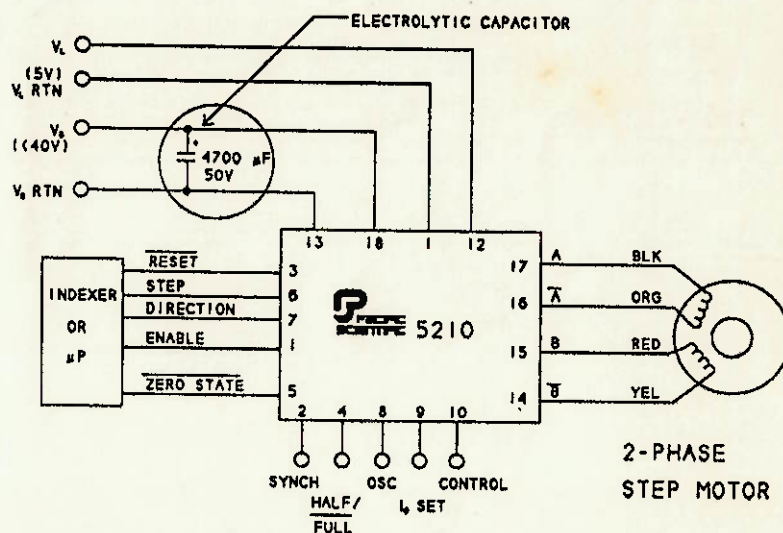
- Indexer or step source
- Motor

Selection and installation guidelines for these components are described in Chapter 2, "Installing the 5210 Series".

1.2.1 External Capacitor

One external capacitor is required with the 5210 module. This capacitor is shown in the diagram below.

Connection diagram

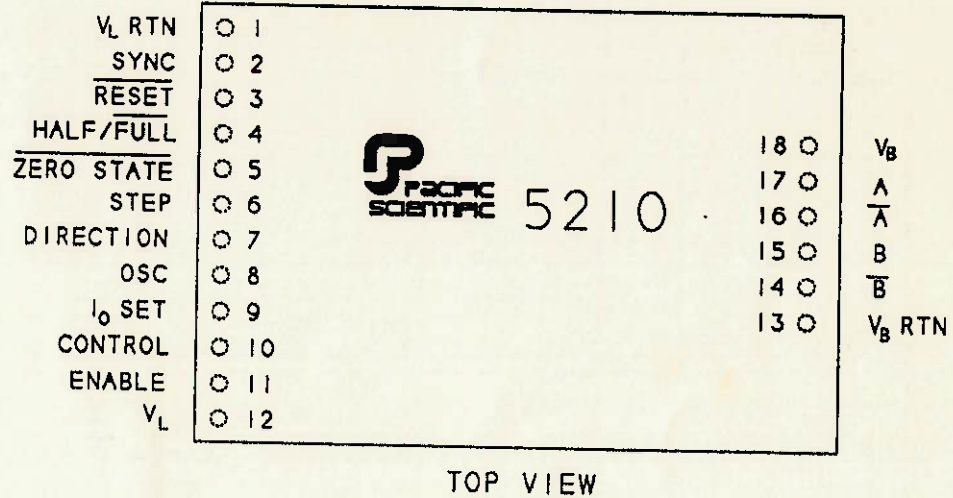


2.5 Pin Functions

Introduction

There are 18 pinouts associated with the 5210 stepper motor driver. Refer to the diagram and table for location and functionality information.

Pinout diagram



Pinout table

Pin	Name	Function
1	V _L RTN	Return for the low power logic supply voltage. This pin is internally tied to pin 13.
2	SYNC	Output of the module chopper oscillator. For multi-axis applications, the choppers of several modules can be synchronized to avoid noise and beat frequencies. Also, the module can be operated from an external chopper oscillator by injecting a frequency signal in this pin. See Section 2.9, "Multiple Module Applications".
3	$\overline{\text{RESET}}$	This input produces an asynchronous reset. A low state on this pin will force the module to the Zero state output: * $\overline{\text{AA}}, \overline{\text{BB}}$
4	HALF/ $\overline{\text{FULL}}$	This input selects full-step or half-step mode of operation. A high or unconnected state on this input will place the module in half-step mode. Full-step mode or Wave drive mode is set by forcing this input low. <i>Note: Do NOT change the state of this input while the module outputs are changing since the full-step or wave drive mode selection is dependent upon the state of the outputs when this input is forced low. See Appendix D.</i>
5	$\overline{\text{ZERO STATE}}$	This output indicates that the module output state is: * $\overline{\text{AA}}, \overline{\text{BB}}$
6	STEP	A pulse on this input will increment the motor one step. The step motion will occur on the rising edge of this input signal.

* The designation $\overline{\text{AA}}$ means current travels in through $\overline{\text{A}}$ and out from A.

Pin	Name	Function
7	DIRECTION	This input selects the direction of motor rotation. A high or unconnected input will cause clockwise motor rotation. A low input will cause counterclockwise rotation.
8	OSC	The module chopper frequency is set at 17 kHz nominal. The chopper frequency can be increased by connecting a resistor between this pin and V_L . It can be decreased by connecting a capacitor between this pin and V_{LRTN} . This pin is also the input for the chopper frequency SYNCH signal in multi-axis configuration. See Section 2.9, "Multiple Module Applications".
9	I_o SET	The module current is set at 2 A per phase. The phase current can be decreased by connecting a resistor between this pin and V_{LRTN} or can be increased by connecting a resistor between this pin and V_L . Scale factor is 1 A/0.17V on this pin. See Section 2.7. <i>Note: The minimum output current for a 5210 is 1A. The maximum recommended operating current is 2.5A.</i>
10	CONTROL	This input defines the module switching mode. • A low input places the module in a non-recirculating or fast decay mode. • An unconnected or high input places the module in a recirculating or slow decay mode. See Section 2.6, "Motor Current Regulation".

Pin	Name	Function
11	ENABLE	This input enables the module when it is high or unconnected. A low input will inhibit both phase currents.
12	V _L	The 5 Vdc logic supply power is applied to this input.
13	V _B RTN	Return for the high power bus voltage supply. This pin is internally tied to pin 1.
14	$\bar{B}$	Motor Phase $\bar{B}$ output (Phase B return)
15	B	Motor Phase B output.
16	$\bar{A}$	Motor Phase $\bar{A}$ output (Phase A return).
17	A	Motor Phase A output.
18	V _B	The high power bus supply is applied to this input. The maximum voltage on this input must not exceed 44 Vdc.

2.6 Motor Current Regulation

Motor phase currents are controlled by two switch mode (chopper), MOSFET, full-bridges. Pulse-width-modulation (PWM) switching provides efficient and precise current control to obtain good torque-speed characteristics from the stepping motor.

Recirculating mode

The recirculating mode is obtained by pulling the CONTROL input high or leaving it unconnected.

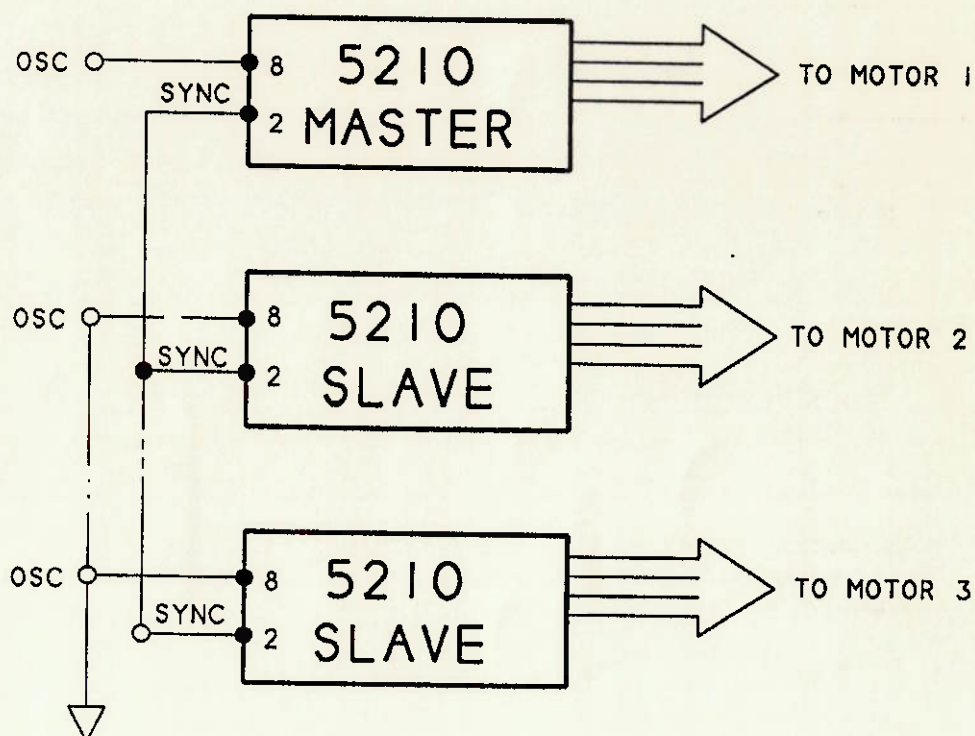
An internal PWM oscillator supplies pulses at a fixed frequency (17 kHz nominal) to a pair of flip-flops. The flip-flops turn on a pair of transistors in each bridge. In the recirculation diagram, transistors Q1 and Q2 are turned on to obtain a phase current of $\bar{A}\bar{A}$.

Note: The other pair would be turned on if phase current of $\bar{A}\bar{A}$ was required.

2.9 Multiple Module Applications

In multi-axis systems, each stepping motor must be driven by a 5210 module. To avoid problems caused by noise and beat frequencies, it is sometimes necessary to synchronize the choppers.

The figure below shows the interconnection wiring for synchronizing the choppers of multiple modules.



Appendix A Specifications

General

Input power	12 - 40 Vdc, 5 Vdc logic
Output current per phase	2.5 A maximum. (Optional heatsink required for current above 2.0A or temperature above 35°C.) adjustable to below 2.5A with addition of a resistor - contact factory
Output voltage	12 - 40 Vdc
Input format (step & direction)	TTL/CMOS compatible
Maximum input pulse rate	full step - 20,000 pulses/sec half step - 20,000 pulses/sec
Minimum input pulse width	500 nS
Motor current enable input	Connecting ENABLE (pin 11) to V _L RTN (pin 1) shuts down the output
PWM chopping frequency	17 kHz (inaudible)

**Parameter
Specifications**

Note: $T_{amb} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified.

Parameter		Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_B	Bus supply voltage	Pin 18	12		40	V
V_L	Logic supply voltage	Pin 12	4.75	5	5.25	V
I_B	Quiescent bus supply current	Pin 18 Pin 11 = low $I_{OUT} = 0$ $V_B = 42V$	15			mA
I_L	Quiescent logic supply current	Pin 12 All inputs high $I_{OUT} = 0$ $V_L = 5V$		60		mA
V_i	Input voltage	Pin 3,4,6,7,10 low high	$V_{LRTN} - .5$ 2.0		0.8 V_L	V V
I_i	Input current	Pin 3,4,6,7,10 $V_i = \text{low}$ $V_i = \text{high}$			-0.6 10	mA μA
V_{en}	Enable input voltage	Pin 11 low high	$V_{LRTN} - .5$ 2.0		0.8 V_L	V V
I_{en}	Enable input current	Pin 11 $V_{en} = L$ $V_{en} = H$			-10 10	mA μA
V_{zs}	Zero state output voltage	Pin 5 low $I_{zs} = 5 \text{ mA}$ high	$V_{LRTN} - .5$ 2.0		0.4 V_L	V V
$R_{Ds(ON)}$	On resistance	Pin 14,15,16,17		0.3	0.45	Ω
$V_{Ds(ON)}$	Saturation voltage	Pin 14,15,16,17 $I_o = 1A$ $I_o = 3A$		0.3 0.9	0.45 1.35	V V
f_c	Chopper frequency			17		kHz
V_D	Diode voltage	Pin 14,15,16,17			1	V
t_{clk}	Stepclk width	Pin 6 See Figure A	0.5			μs

Parameter		Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
t_s	Set up time	See Figure A	1.0			μs
t_h	Hold time	See Figure A	1.0			μs
t_R	Reset width	See Figure B	1.0			μs
t_{Rclk}	Reset to STEP set up time	See Figure B	1.0			μs

Figure A

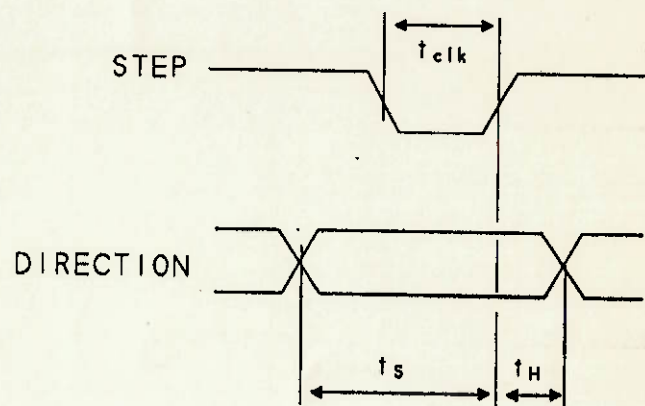
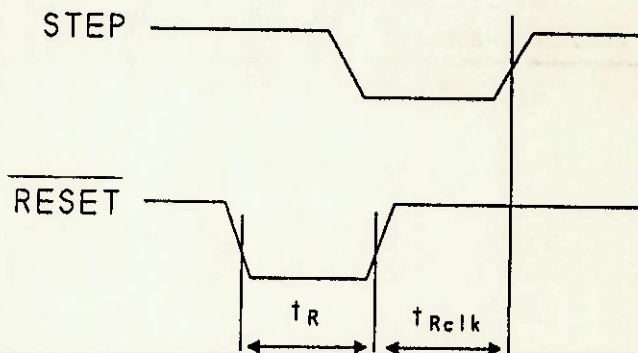


Figure B

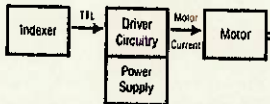


MODELS 5410/5310

Microstep driver modules 5.0 and 2.5A/18 to 75 Vdc per phase output

- Economical, high efficiency bipolar chopper driver module
- User provides DC power supply
- Full, 1/2, 1/5, 1/25 and 1/125 step operation
- Optically isolated TTL/CMOS compatible inputs

Includes bipolar chopper drive circuitry for operation from DC power sources.



The Model 5410 (5.0A) and 5310 (2.5A) Microstep Driver Modules offer the same operating features as the Model 5430. Using a DC power source available in many applications, the driver converts step and direction inputs into motor winding currents for two phase bipolar step motors.

Models 5410 and 5310 can operate on a range of supply voltages, from 18 to 75 Vdc. A 12 Vdc logic supply is also required. Output voltage is equal to that of the power supply.

MICROSTEPPING AND CURRENT BOOST

Microstepping assures smooth, low speed operation and optimum system resolution.

Both models also feature a unique current boost function in the microstep mode. The driver switches to full step operation at rates above 150 RPM (500 full steps/sec), effectively boosting current 40%.

FULL TORQUE AT ALL SPEEDS

Patented mid-range instability compensation ensures the availability of full motor torque at all speeds.

This active control circuit modifies input step timing to damp rotor oscillation generated by the step motor's generated voltage.

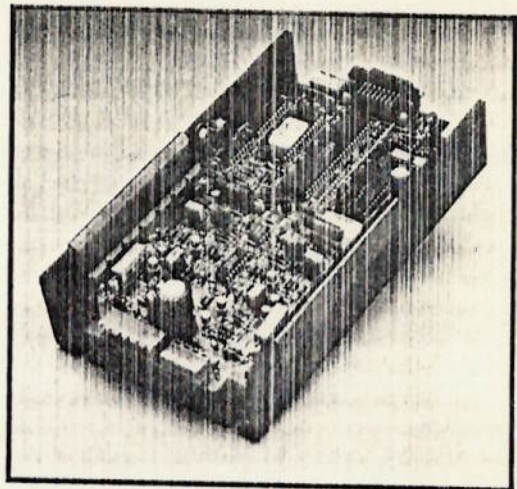
HIGH EFFICIENCY BIPOLAR CHOPPING

Also patented, 4-phase PWM chopping electronically controls the motor winding currents at 20 kHz frequency.

This combines the best of recirculating and nonrecirculating current regulation, producing high back EMF rejection with low chopping ripple current.

When used with high performance step motor windings, benefits include reduced heat dissipation, low electrical noise and improved current control during motor braking. Typically, higher motor shaft power is also delivered to the load.

Continuous rated torque range:
121 to 988 oz-in. at 50 steps/sec



IDLE CURRENT REDUCTION

This useful function permits an automatic 50% reduction in motor winding current during motor idle conditions. Use idle current reduction to minimize heating during dwell periods.

OPERATING FEATURES

- Constant current, full bridge, bipolar chopper MOSFET drive
- Switch selectable full, 1/2, 1/5, 1/25 and 1/125 step operation
- Jumper selectable mid-range instability compensation, active above 500 full steps/sec (150 RPM)
- Switch selectable 50% current reduction one second after last step pulse

COMMUNICATIONS

- Optically isolated, TTL/CMOS compatible inputs:
 - Step and direction
- Motor current disable input:
 - Logic 0 produces zero current level

PROTECTION

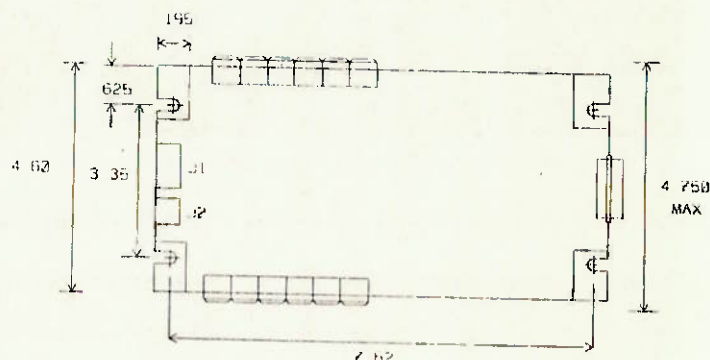
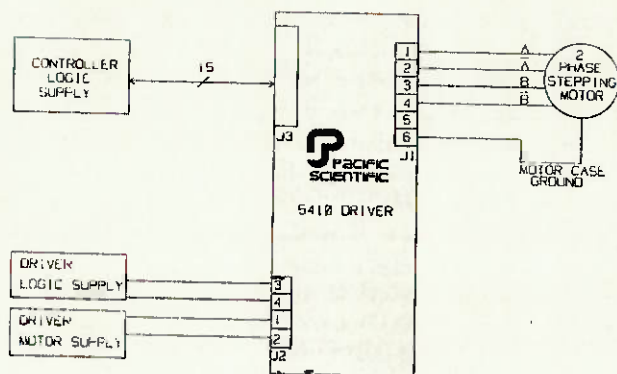
- Transformer isolated input
- Fused, MOV protected input
- Output short circuit protection
- Overtemperature shutdown

GENERAL . . . Models 5410 and 5310

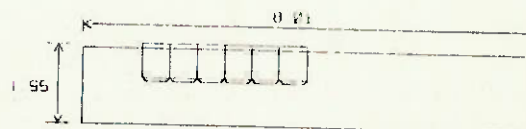
Input power (motor)	18 to 75 Vdc @ 5.0A
Input power (logic)	12 Vdc ($\pm 5\%$) @ 200 mA max.
Input format (step and direction)	Optically isolated TTL/CMOS compatible inputs
Output current (per phase)	
Model 5410	5.0A rms (full step mode) 3.5A rms (microstep mode)
Model 5310	2.5A rms (full step mode) 1.75A rms (microstep mode)
Output voltage	18-75V
Maximum input pulse rate	40,000 pulses/sec—full step (12,000 RPM) 80,000 pulses/sec—1/2 step (12,000 RPM) 200,000 pulses/sec—1/5 step (12,000 RPM) 500,000 pulses/sec—1/25 step (6,000 RPM) 500,000 pulses/sec—1/125 step (1,200 RPM)
Minimum input pulse width	1 microsecond
PWM chopping frequency	20 kHz, nominal (inaudible)
Operating temperature	
Full ratings	0° to 50°C ambient
Derated	50°C to 60°C ambient (contact factory for performance)
Storage temperature	-40°C to 85°C
Relative humidity	10% to 90%, noncondensing
Interfacing connectors (furnished)	
Motor	6 position, pluggable, screw terminal Phoenix connector (J1)
User command	15 pin D connector (J3)
AC line	4 position, pluggable, screw terminal Phoenix connector (J2)
Weight	1.5 lbs.

CONNECTION DIAGRAM . . . Models 5410 and 5310

DIMENSIONS



FRONT VIEW



SIDE VIEW

HOW TO ORDER . . . 5410 and 5310 Recommended systems

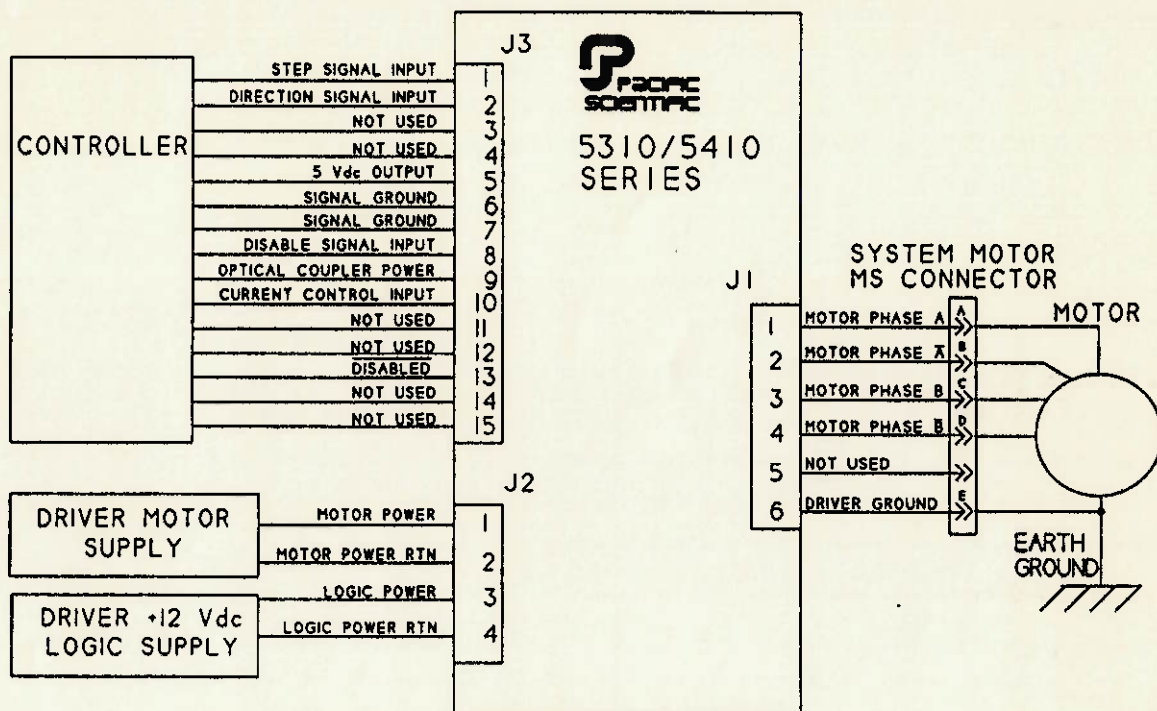
Order motor and driver as separate model numbers. E Series motors, recommended for systems use, are equipped with MS type power connectors.

Systems performance Page 42

Systems motors Page 48

Cabling Page 103

System Diagram The following diagram shows an installation of the driver in a typical system.



Note: Your installation may vary from this configuration.

1.3 How to Use this Manual

This manual contains information and procedures to install, setup, and troubleshoot the 5310/5410 stepper motor driver.

The most effective way to use this manual is to follow the installation and power up instructions contained in Chapter 2 and Chapter 3.

1.4 Warranty

The Pacific Scientific 5310/5410 drivers have a two year warranty against defects in material and assembly. Products that have been modified by the customer, physically mishandled, or otherwise abused through miswiring, incorrect switch settings, and so on, are exempt from the warranty plan.

Procedure

1. Strip the wires 0.27 inch (7mm).
2. Attach the wires to the connector as indicated in the diagram.

Note: Make sure the screws on the Phoenix connector are tightened down firmly on the wiring.



Caution

Do not solder the tips of the cables going into the Phoenix connector. This can result in a loose connection.



Warning

The chassis must be tied to earth ground via the motor cable as described in Section 2.5.1. Failure to do this leaves a potential for severe shock hazard.

2.5.3 J3 Signal Interface Connection

Introduction

The J3 signal interface accepts step and direction signals from an indexer or other source. A CURRENT CONTROL Input and an DISABLE Input are also provided. A DISABLED output indicates whether the power stage is active or not. See the figure at the end of this section for circuit details and an interconnection diagram.

J3 signal table

Input/Output	Pin	Explanation
STEP Signal Input	J3-1	Optically isolated input that causes the motor to step on the low-to-high transition. The step pulse must be at least 1.0 μ sec in duration. Refer to Appendix A for timing and loading information.
DIRECTION Signal Input	J3-2	Optically isolated input that determines the direction of motor rotation. If standard wiring is followed, the motor will turn clockwise if the DIRECTION input is high or not driven. The sense of the DIRECTION input can be reversed by reversing the connection of either (but not both) motor phase connectors (i.e. switching A & A OR B & B). Refer to Appendix A for timing and loading information.
	J3-3	Not used.
Internal	J3-4	Internal connection, not to be used.
5 Vdc Output	J3-5	This <u>output will</u> supply up to 15 mA for optically isolating the DISABLED output signals. See figure at the end of this section.
Signal Ground	J3-6	Driver module's ground bus. (See diagram)
Signal Ground	J3-7	Driver module's ground bus. (see diagram)

Table (cont'd)

Input/Output	Pin	Explanation
DISABLE Signal Input	J3-8	Connecting this pin to J3-5 (5 Vdc) disables the driver's power stage, removing current from the motor phase windings and preventing <u>stepping motor</u> operation. This also causes J3-13 (DISABLED) to go low. <i>Note: J3-8 is noise sensitive. Do not connect a wire to J3-8 and leave it unterminated. If the input is used, connect it to J3-5 to disable and to J3-6 or J3-7 to enable the controller.</i>
Optical Coupler Power Input	J3-9	This input requires a separate 5 to 30 Vdc power supply at 40 mA to power the opto isolators within the driver module. Voltages higher than 5 Vdc require an additional resistance in the input logic lines. Refer to diagram at the end of this section.
CURRENT CONTROL Input	J3-10	Optically isolated input to control the motor phase currents. If this input is high or disconnected the driver will produce rated current levels. A low at this input (opto current flowing) will set the commanded current to zero.
	J3-11	Not used.
Internal	J3-12	Internal connection, not to be used.
DISABLED State output	J3-13	20V/20mA max. sinking output (See circuit diagram below). A low (transistor on) indicates the drive module has been forced into a disabled condition because of an internal or external disable condition.
	J3-14	Not used.
Internal	J3-15	Internal connection, not to be used.

Appendix A Specifications

Electrical

Motor power supply input	18 - 75 Vdc @ 5.0 Amps (2.5 Amps for 5310)	
Logic power supply input	12 $\pm$ 5% Vdc, 200 mA, max.	
Optoisolator power supply input	5 to 30 Vdc, 40 mA, max.	
Rated driver current (motor phase current)	5310	5410
Full step	2.5 $\pm$.1 Amp	5.0 $\pm$.1 Amp
Microstep	1.75 $\pm$.1 Amp	3.5 $\pm$.1 Amp
Microstep with current boost on above 500 full steps/sec	2.5 $\pm$.1 Amp	5.0 $\pm$.1 Amp
Drive circuit	Two-phase bipolar, chopper current regulated	
Chopper frequency	20 kHz, nominal	
Step size	Switch settable	Steps/motor revolution (1.8° stepper motor)
	Full	200
	1/2	400
	1/5	1000
	1/25	5000
	1/125	25000

Signal input requirements

(See circuit diagram, Section 2.5.3)

Optically Isolated Inputs:

Input	Min Input Current - Opto ON	Min Voltage (J3-9 to Input) - Opto ON	Max Input Current	Max Voltage (J3-9 to Input)	Max Reverse Voltage (Input to J3-9)
J3-1 - Step	7.0 ma	4.35 volts	18 ma	8.3 volts	5 volts
J3-2 - Direction	13.2 ma	4.35 volts	22.5 ma	5.7 volts	5 volts
J3-10 - Current Control	13.2 ma	4.35 volts	22.5 ma	5.7 volts	5 volts

J3-8 - Disable

Non-optically isolated input requiring a sourcing driver with 2.4 volts minimum high voltage at 500 ma source current and maximum low voltage of 0.5 volts with zero sink current.

Signal output characteristics

(See circuit diagram, Section 2.5.3)

J3-13 - Disabled

(NPN transistor with emitter connected to driver ground)

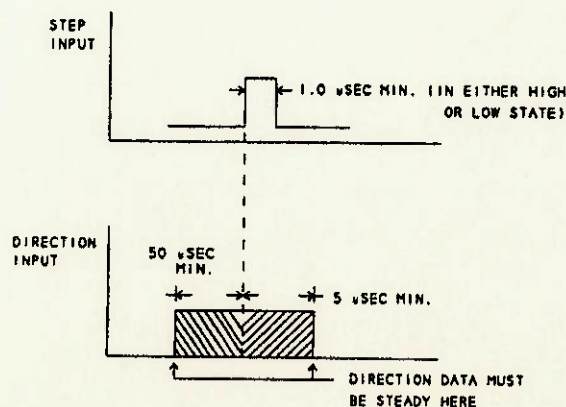
Maximum low level voltage while sinking 20 ma: 1.1 volts

Maximum step rate

Step	Pulse rate
Full step	40,000 pulses/sec
1/2 step	80,000 pulses/sec
1/5	100,000 pulses/sec
1/25	500,000 pulses/sec
1/125	500,000 pulses/sec

Step/Direction timing requirements

The figure below show the required timing relationship between the STEP and DIRECTION inputs:



Minimum ramp time 50 milliseconds (This restriction only applies with mid-band stability control circuit enabled.)

Driver state generator transition delay relative to input step

1. With stability control circuit enabled, at pulse frequencies less than 500 full steps/sec, delay is less than 500 μ sec. At frequencies greater than 500 full steps/sec, delay is less than 270° of the input pulse period.
2. With stability control circuit disabled, delay is less than 10 μ sec at all step frequencies.

Environmental

Operating Temperature Operating temperature range (with convection cooling, unit mounted vertically)

0 to 50°C ambient air, (full rating)

0 to 60°C ambient air

microstepping 1/5, 1/25, 1/125

Idle Current Reduction Enabled

0 to 85°C heatsink temperature at transistor mounting surface.

Storage temperature -55°C to +70°C

Humidity Range 10 to 90%, non-condensing

Mechanical

Dimensions Refer to Section 2.4

Weight 1.5 lb nominal

Connectors

Power Supply Phoenix pluggable screw connector - supplied

Signal ITT Cannon DAP-15SAA, Mating connector: ITT Cannon DA-15P with ITT Cannon shell DA110963-2 or equivalent.

Motor Phoenix pluggable screw connector - supplied.

Appendix E Low Speed Resonance Problems

Introduction

A stepper motor is a rotary spring-mass system. The "mass" is the motor's rotor inertia plus any load inertia. The "spring" is the torque produced by the motor which, for small deflections, is proportional to the angle between the actual and commanded positions. If the shaft of the motor is displaced from its holding position by a small angle and then suddenly released, it will swing back and forth around the holding position in a gradually decaying oscillation before eventually coming to rest. As with any lightly damped resonant system, a stepper motor can be made to oscillate at its natural (or resonant) frequency if it is excited by torque pulses occurring at this rate. This will happen if the step rate equals the resonant frequency.

The resonant frequency of a stepper motor having 200 full steps per revolution is given by:

$$F_{\text{resonant}}(\text{hz}) = 1.1 * \text{SQR}(\text{Holding Torque} / J_{\text{total}})$$

where Holding Torque is given in oz-in and J_{total} is the motor plus load inertia in oz-in-sec². For example, the resonant frequency of an unloaded E34HCHT-LNK-NS-00 motor, having rotor inertia equal to 0.035 oz-in and holding torque of 1222 oz-in at 5 amps phase current is :

$$F_{\text{resonant}} = 1.1 * \text{SQR}(1222 / .035) = 206 \text{ Hz}$$

If the motor were run at 206 full steps per second (62 rpm), the resonance will be excited. If the oscillations become large enough, the motor will drop out of synch and stall.

Solutions

Using the 5410, two solutions to the resonance problem are:

1. Avoid running the motor near the speed that will excite the resonance frequency. This is accomplished by setting the minimum start speed in the associated indexer/controller above the speed that excites the resonance.
2. Use microstepping. The smaller step size reduces torque disturbances and hence oscillation due to the low speed resonance.

E SERIES HYBRID STEP MOTORS

NEMA 23 FRAME SIZE Systems configuration

- High torque-to-inertia
- High acceleration
- MS connector equipped
- Long life bearings

To simplify specification, these 2" hybrid step motors are preconfigured for the most common low power application parameters. Each is ideally suited for use with various Pacific Scientific 5300 and 5200 series drivers and indexer/drivers.

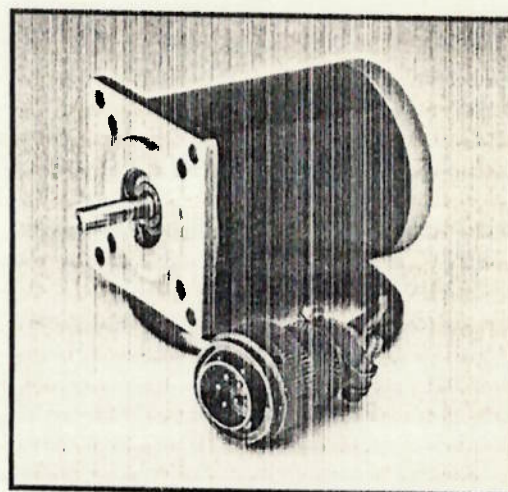
MS connector termination is standard, assuring reliability and fast startup.

The 2" systems motors are intended for open loop operation in applications where splashproofing is not an issue. For additional performance and construction options, see Hybrid Step Motors, beginning on page 58.

RECOMMENDED SYSTEMS MOTORS... ratings and characteristics

We suggest you use E Series enhanced hybrid step motors to achieve the highest overall performance from your system. See page 49 for the specific advantages of the Sigmax® technology.

Performance characteristics for systems motors with recommended Pacific Scientific drivers begins on page 40.



Continuous rated torque range:
86 to 173 oz-in. at 50 steps/sec

While Sigmax offers the highest output performance, your selection is not limited to these systems motors. Pacific Scientific is a full line step motor manufacturer with configurations to meet a broad spectrum of applications.

For additional motors, see the Hybrid Step Motors section beginning on page 58.

Model Number Δ	Old Model Number (Reference Only)	Drive Current/Phase (amps DC)	Holding Torque Δ (2 phases on) oz-in (Nm)	Torque Δ at 50 sps oz-in (Nm)	Detent Torque oz-in (Nm)	Phase Resistance (ohms) $\pm 10\%$	Phase Inductance (mH) $\pm 20\%$	Rotor Inertia oz-in-S ² (kgm ² x 10 ⁻³)	Weight lbs (kgm)
E21NCHT-LNN-NS-00	802-D2220B071	2.5	112 (0.79)	86 (0.61)	4.8 (0.03)	0.71	2.1	0.0016 (0.014)	1.2 (0.55)
E22NCLT-LNN-NS-00	802-D2230B1.24	2.5	225 (1.59)	173 (1.22)	9.6 (0.07)	1.24	3.8	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)
E22NCLP-LNN-NS-00	802-D2230B071	2.5	158 (1.12)	121 (0.85)	9.6 (0.07)	0.71	1.8	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)

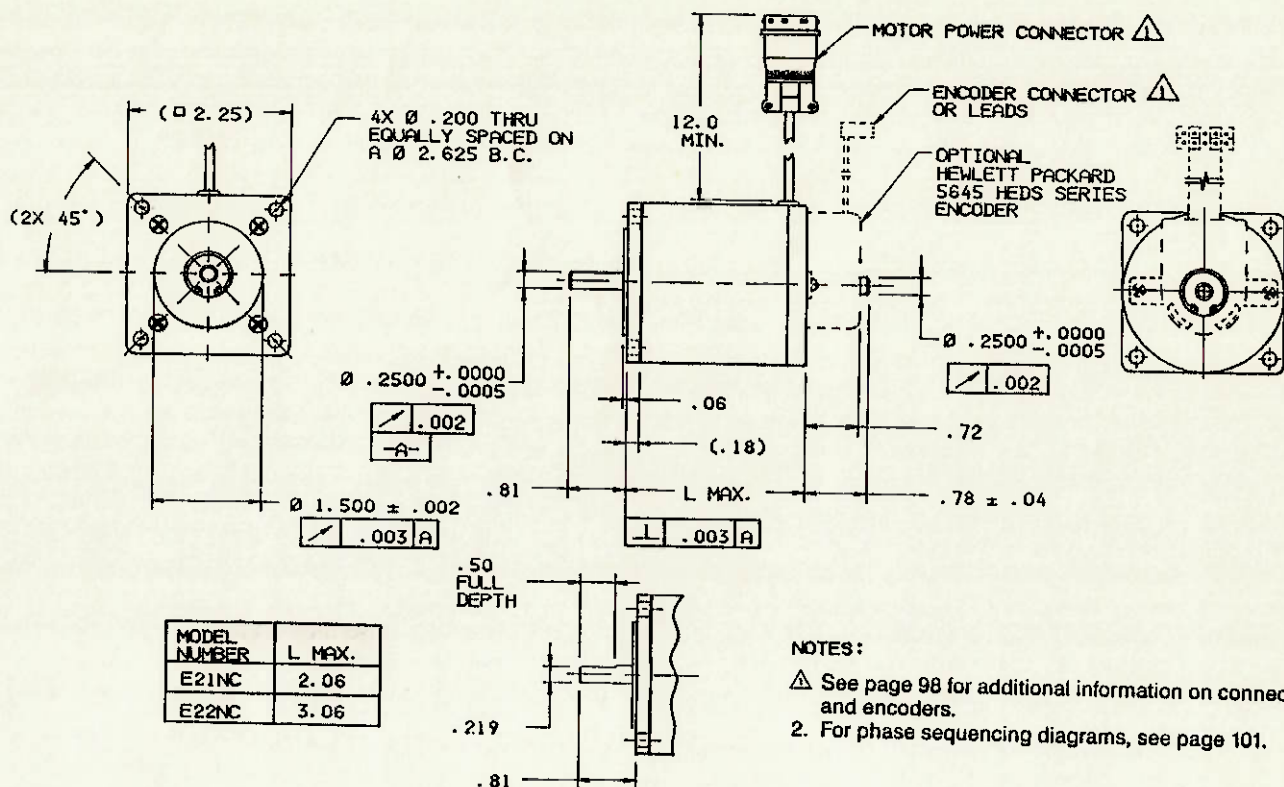
Δ See How to Order and Model Number Code on page 51.

Δ When operated at listed driver current.

Δ Torque at 50 steps per second with rated current and voltage applied is provided as a widely applicable performance indicator. Motor torque at this step rate is not driver-voltage sensitive.

Δ Small signal inductance as measured with impedance bridge at 1 kHz, 1 amp.

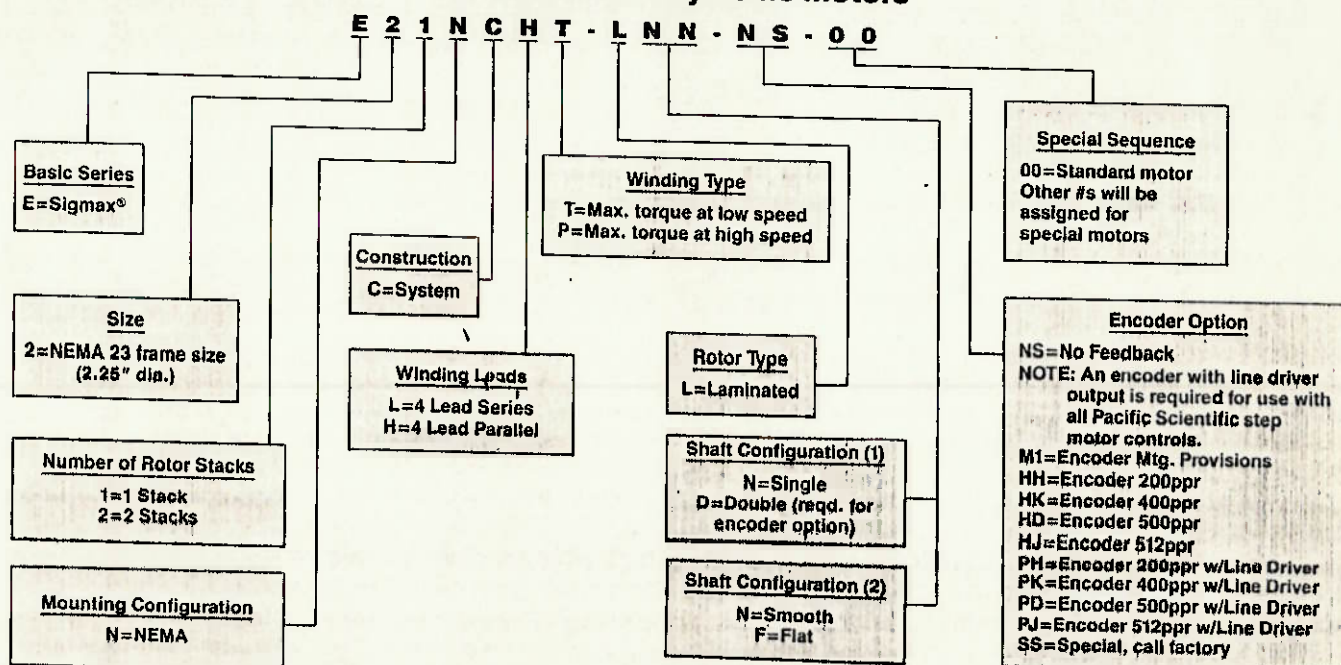
DIMENSIONS



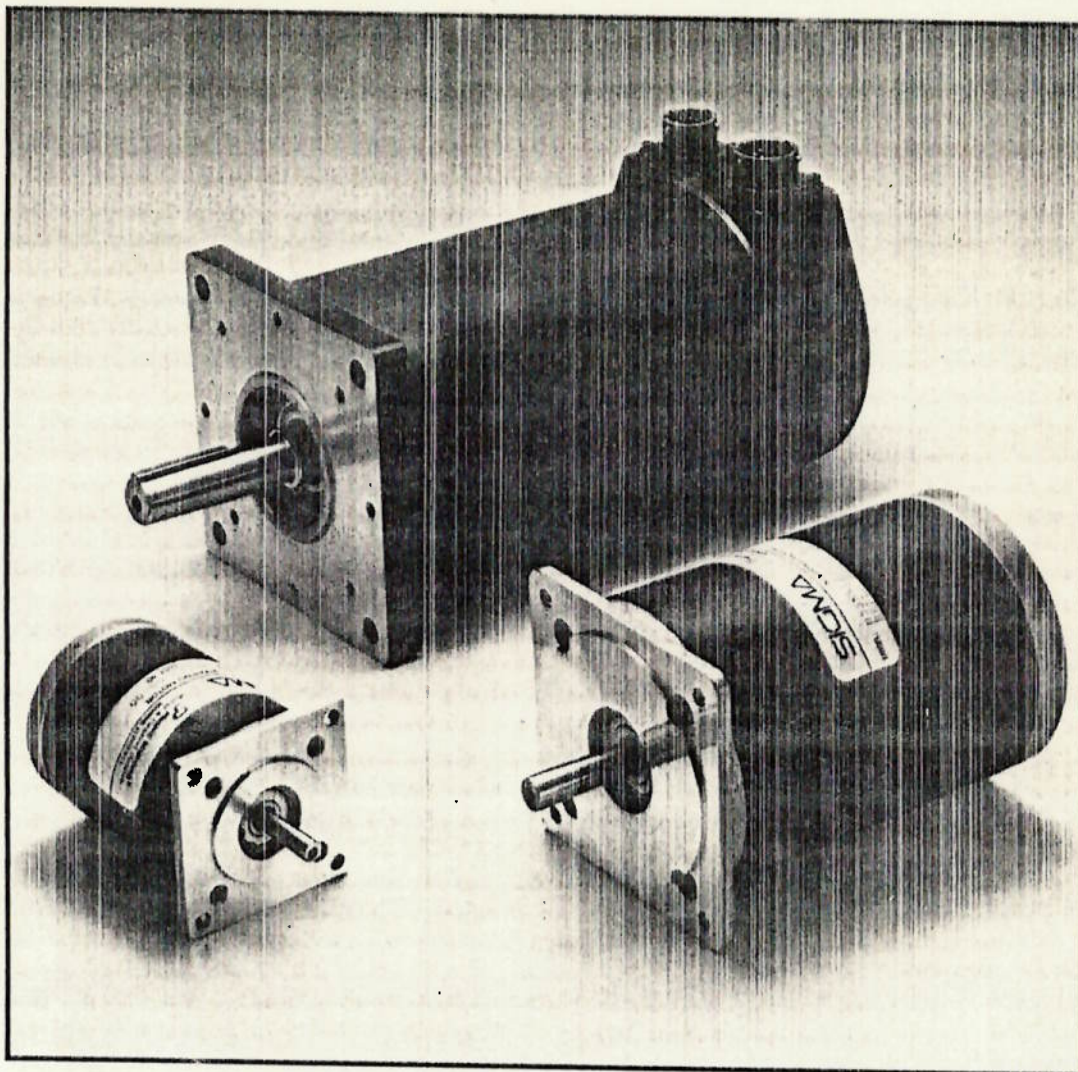
HOW TO ORDER . . . Recommended systems motors

Order motors and controls as separate part numbers.
For cabling, see page 103.

MODEL NUMBER CODE . . . Recommended systems motors



The example above indicates a Sigmax® (enhanced hybrid) NEMA frame size 23 motor with one rotor stack. It includes an MS connector on the end of a 12 inch cable for power, a bipolar parallel connection, a maximum torque at low speed winding and a single ended, smooth shaft.



2) HYBRID STEP MOTORS (See H)

Sometimes you just need an extra measure of performance without moving up to the next frame size or stack length.

Other times you need all the torque a step motor winding can muster, exceptionally fast settling or truly rapid acceleration.

Let's say you want to run conduit to a splash-proofed step motor, with a Woodruff key on a rugged, large diameter shaft.

IT'S ALL HERE

That's when you'll be glad you're working with Pacific Scientific. We build hundreds of hybrid stepping and synchronous motor design variations as standard catalog items.

The H Series is our line of standard step motors for performance comparable to industry standards.

For increased torque and acceleration, the general purpose E Series designs feature the same patented Sigmax® technology as our systems configured motors (page 48).

For easy comparison, you'll find technical information on our general purpose H and E Series motors listed side-by-side.

WIDE RANGE OF WINDINGS

You'll note that many of these motors are available with a choice of two windings. And that's just the beginning.

Our T windings generate maximum low end torque, while P windings deliver an edge in torque at higher speeds.

Performance for both types are shown in motor ratings and characteristics tables. They're also plotted on the same curve for each motor where T and P windings are offered. Consult the performance curves in each step motor section—to see which winding is best for you.

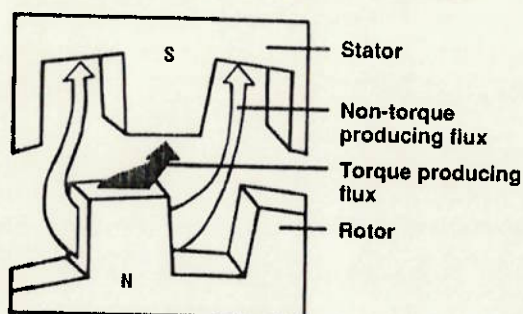
Trying to duplicate a torque/speed curve that isn't in this catalog? We have hundreds more windings, both standard and non-standard. To get the performance you need, just call or fax your Pacific Scientific distributor or the factory.

SIGMAX® AND STANDARD HYBRID STEP MOTORS

Here's how Sigmax works. Stator mounted samarium cobalt magnets in E Series motors concentrate magnetic flux at desired points between the rotor and stator.

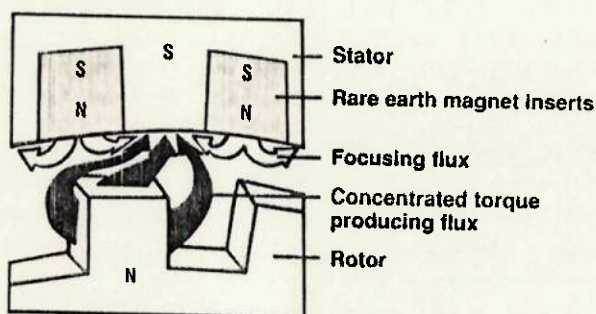
The flux focusing action optimizes flux paths, increasing torque production and current utilization over comparably sized H Series motors.

H SERIES STANDARD HYBRID



Typical paths of flux transfer in an energized conventional hybrid step motor. Some flux leakage occurs in normal operation.

E SERIES SIGMAX® TECHNOLOGY



Patented Sigmax® technology* redirects magnetic flux to inhibit leakage and optimize torque production.

* Sigmax® technology is covered by U.S. patents 4,712,028, 4,713,470, 4,763,034 and 4,827,164.

INDEX

	Page
Performance overview	60
H Series (standard) and E Series (enhanced) hybrid step motors	61
H and E Series (high acceleration) motors with low inertia rotors	81
HT Series (high torque/low speed) motors with solid rotors	83
S Series (synchronous) motors	90
Powermax™ hybrid step motors	107

SPECIALIZED PERFORMANCE

When you face a unique challenge, specific attributes become more important than an overall torque/speed envelope.

Sometimes acceleration is very important. That's why low inertia rotors are available in NEMA 23 frame sizes, both H and E Series.

The HT Series has excellent damping (low settling time), high torque and low noise at speeds up to 150 RPM, in NEMA 23, 34 and 42 frames.

Use our NEMA 23, 34 and 42 frame synchronous motors for highly accurate, bidirectional, constant speed 72 RPM motor drives from 120 Vac line power.

PERFORMANCE OVERVIEW. . . Hybrid step motors

OD (in)	Specifications Ranges Δ	H Series Laminated Rotor	E Series Laminated Rotor	H Series Low Inertia Rotor	E Series Low Inertia Rotor	HT Series Solid Rotor
2.3	Torque @ 50 sps. Holding Torque Rotor Inertia	41-125 53-162 0.0010-0.0031	55-184 71-239 0.0010-0.0031	62-116 80-151 0.0012-0.0023	84-156 109-203 0.0012-0.0023	41-74 53-168 0.0008-0.0023
3.4	Torque @ 50 sps. Holding Torque Rotor Inertia	182-715 237-930 0.0083-0.0350	263-1023 342-1300 0.0083-0.0350			168-575 219-748 0.0055-0.0230
4.2	Torque @ 50 sps. Holding Torque Rotor Inertia	702-2084 913-2707 0.0800-0.2400	1073-3103 1395-4034 0.0800-0.2400			618-1840 803-2392 0.0460-0.1400

Δ Torques (oz-in). Holding torques at rated current. Inertias (oz-in-S²).

GENERAL

Type

- H Series Hybrid step motor
- E Series Hybrid with enhanced rare earth (E Series) magnet stator

Rotor construction

- H & E Series, L rotor laminated and bonded (high speed efficiency)
- H & E Series, J rotor Low mass/low inertia (high acceleration)
- HT Series, T rotor Solid (low speed, high torque)

Windings

- T type Maximum torque at low speed
- P type Maximum torque at high speed
- Other standard or special windings consult factory

Phases

- Full steps per revolution 2
- Full step angle 200
- Fractional step capability 1.8°
- Angular accuracy 1/2, 1/5, 1/25 and 1/125

Angular accuracy

- H Series $\pm 3\%$ of one step, no load, noncumulative
- E Series $\pm 1.5\%$ of one step, no load, noncumulative

Operating temperature

- Insulation -20 to 40°C

H Series and E Series

- Insulation resistance NEMA Class B, 130°C
- Sealing 100 Megohms at 500 Vdc and 25°C
- 3" and 4" motors with "C" System or "L" Splashproof designations are in accordance with NEMA MG1-1.26, Part E and IP65 with the exception of the motor shaft. The optional shaft seal provides sealing to these same specifications.

NEMA 23 MOTORS, H AND E SERIES . . . Ratings and characteristics

In addition to those shown below, Pacific Scientific offers a wide range of other standard and nonstandard windings to meet specific performance requirements. Consult factory.

Model Number Δ	Old Model Number (Reference Only)	Rated Δ Current/Phase (amps DC)	Holding Torque (2 phases on) Δ at rated current 1.5 x rated oz-in (Nm)	Torque Δ at 50 sps oz-in (Nm)	Detent Torque oz-in (Nm)	Thermal Resistance Δ (°C/watt)	Phase Resistance (ohms) Δ ±10%	Phase Inductance (mH) Δ ±20%	Rotor Inertia oz-in-S ² (kgm ² x 10 ⁻³)	Weight lbs (kg)
Maximum torque at low speed (see plot T in performance curve)										
H2HNXHT-LXX-NS-00	21-2215D200-B068	2.6	53 (0.37)	41 (0.29)	1.6 (0.01)	7.1	0.68	1.5	0.0010 (0.006)	0.9 (0.41)
H21NXHT-LXX-NS-00	21-2220D200-B071	2.8	86 (0.61)	66 (0.47)	2.8 (0.02)	6.0	0.71	2.4	0.0015 (0.010)	1.2 (0.55)
E21NXHT-LXX-NS-00	802-D2220B071	2.8	126 (0.89)	164 (1.16)	4.8 (0.03)	6.0	0.71	2.1	0.0015 (0.010)	1.2 (0.55)
H22NXLT-LXX-NS-00	21-2230D200-B1.24	2.6	162 (1.14)	125 (0.88)	4.6 (0.03)	4.4	1.24	5.0	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)
E22NXLT-LXX-NS-00	802-D2230B1.24	2.6	239 (1.69)	315 (2.22)	9.6 (0.07)	4.4	1.24	3.8	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)
Maximum torque at high speed (see plot P in performance curve)										
H22NXLP-LXX-NS-00	21-2230D200-B071	3.4	162 (1.14)	125 (0.88)	4.6 (0.03)	4.4	0.71	2.3	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)
E22NXLP-LXX-NS-00	802-D2230B071	3.4	220 (1.55)	294 (2.08)	9.6 (0.07)	4.4	0.71	1.8	0.0031 (0.019)	2.1 (0.95)

All ratings typical and at 25°C unless otherwise noted.

- Δ An "X" in the Model Number Code indicates an undefined option. See How to Order and Model Number Code below.
- Δ Windings at 130°C and motor in still air at 40°C unmounted (without heat sink).
- Δ Operation of "H" type motors above rated current may cause demagnetization. Contact factory.

Δ Torque at 50 steps per second with rated current and voltage applied is provided as a widely applicable performance indicator. Motor torque at this step rate is not driver-voltage sensitive.

Δ Thermal resistance from motor winding to ambient with motor hanging in still air (unmounted).

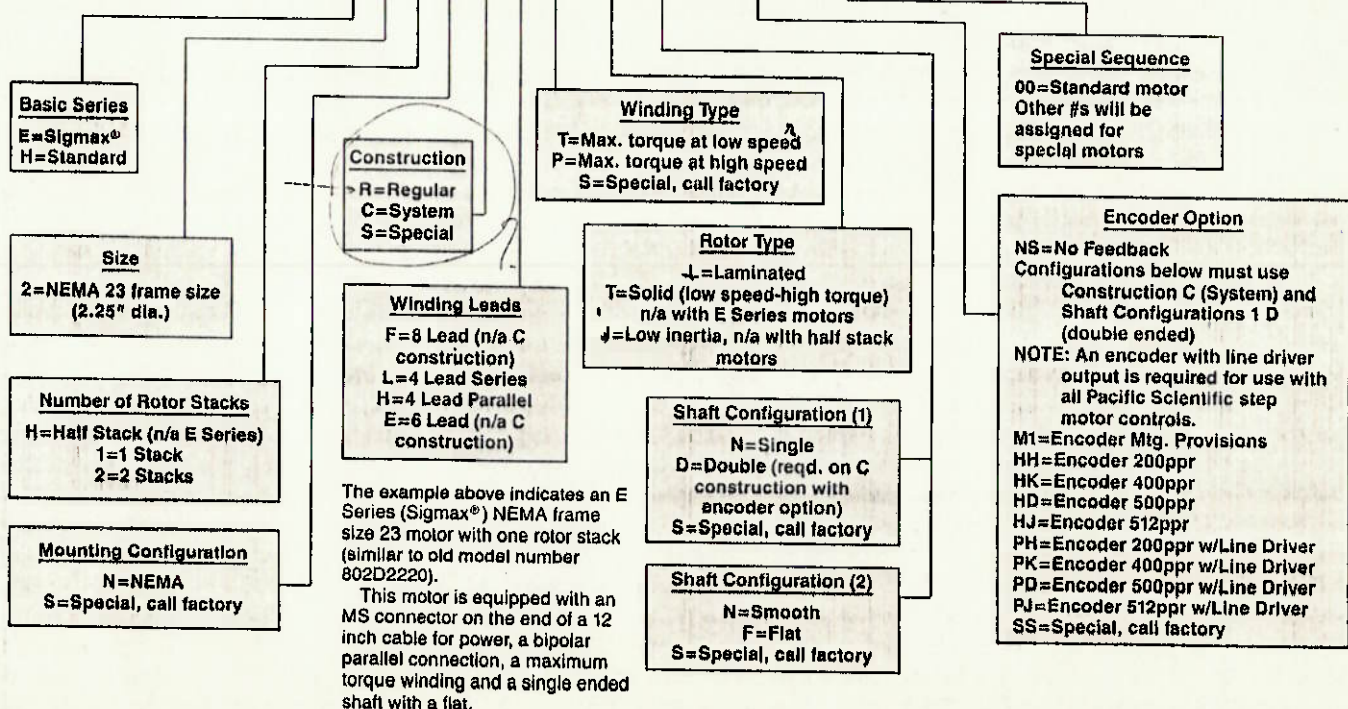
Δ Small signal inductance as measured with impedance bridge at 1 kHz, 1 amp.

HOW TO ORDER . . . NEMA 23 H and E Series motors

Order motors and controls as separate part numbers. For cabling, see page 103.

MODEL NUMBER CODE . . . NEMA 23 H and E Series motors

E 2 1 N C H T - L N F - N S - 0 0



NEMA 34 MOTORS, H AND E SERIES. Ratings and characteristics

In addition to those shown below, Pacific Scientific offers a wide range of other standard and nonstandard windings to meet specific performance requirements. Consult factory.

Model Number Δ	Old Model Number (Reference Only)	Rated Δ Current/Phase (amps DC)	Holding Torque (2 phases on) at rated current oz-in (Nm)	1.5 x rated oz-in (Nm)	Torque Δ at 50 sps oz-in (Nm)	Detent Torque oz-in (Nm)	Thermal Resistance Δ ($^{\circ}$ C/watt)	Phase Resistance (ohms) $\pm 10\%$	Phase Inductance (mH) $\pm 20\%$	Rotor Inertia oz-in-S ² (kgm ² x 10 ⁻³)	Weight lbs (kg)
Maximum torque at low speed (see plot T in performance curve)											
H31NXLT-LXX-NS-00	21-3424D200-B1.2	2.8	237 (1.67)		182 (1.29)	8.8 (0.06)	3.9	1.20	10.8	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
E31NXLT-LXX-NS-00	802-D3424B1.2	2.8	342 (2.42)	429 (3.03)	263 (1.86)	21.5 (0.15)	3.9	1.20	10.5	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
H31NXHT-LXX-NS-00	21-3424D200-B03	5.5	237 (1.67)		182 (1.29)	8.8 (0.06)	3.9	0.30	2.7	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
E31NXHT-LXX-NS-00	802-D3424B03	5.5	342 (2.42)	429 (3.03)	263 (1.86)	21.5 (0.15)	3.9	0.30	2.3	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
H32NXLT-LXX-NS-00	21-3437D200-B1.8	2.6	465 (3.28)		358 (2.53)	17.8 (0.13)	2.7	1.80	20.8	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
E32NXLT-LXX-NS-00	802-D3437B1.8	2.6	667 (4.71)	850 (6.00)	512 (3.62)	41.6 (0.29)	2.7	1.80	20.5	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
H32NXHT-LXX-NS-00	21-3437D200-B045	5.3	465 (3.28)		358 (2.53)	17.8 (0.13)	2.7	0.45	5.3	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
E32NXHT-LXX-NS-00	802-D3437B045	5.3	667 (4.71)	850 (6.00)	513 (3.62)	41.6 (0.29)	2.7	0.45	5.0	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
H33XXHT-LXX-NS-00	21-3450D200-B062	5.2	690 (4.87)		531 (3.75)	26.6 (0.19)	2.0	0.62	8.0	0.0250 (0.151)	7.6 (3.45)
E33XXHT-LXX-NS-00	802-D3450B062	5.2	985 (6.96)	1272 (8.98)	758 (5.35)	63.9 (0.45)	2.0	0.62	7.5	0.0250 (0.151)	7.6 (3.45)
H34HXHT-LXX-NS-00	21-3462D200-B07	5.3	894 (6.31)		688 (4.86)	35.0 (0.25)	1.7	0.70	9.7	0.0350 (0.211)	9.7 (4.41)
E34HXHT-LXX-NS-00	802-D3462B07	5.3	1258 (8.88)	1660 (11.72)	968 (6.83)	83.0 (0.59)	1.7	0.70	8.3	0.0350 (0.211)	9.7 (4.41)
Maximum torque at high speed (see plot P in performance curve)											
H31NXLP-LXX-NS-00	21-3424D200-B053	4.3	242 (1.71)		186 (1.31)	8.8 (0.06)	3.9	0.53	4.9	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
E31NXLP-LXX-NS-00	802-D3424B053	4.3	351 (2.48)	438 (3.09)	270 (1.91)	21.5 (0.15)	3.9	0.53	4.1	0.0083 (0.050)	3.2 (1.45)
H32NXLP-LXX-NS-00	21-3437D200-B08	4.1	474 (3.35)		365 (2.57)	17.8 (0.13)	2.7	0.80	9.3	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
E32NXLP-LXX-NS-00	802-D3437B08	4.1	684 (4.83)	857 (6.05)	526 (3.72)	41.6 (0.29)	2.7	0.80	9.2	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
H32NXHP-LXX-NS-00	21-3437D200-B02	8.3	474 (3.35)		365 (2.57)	17.8 (0.13)	2.7	0.20	2.3	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
E32NXHP-LXX-NS-00	802-D3437B02	8.3	684 (4.83)	857 (6.05)	526 (3.72)	41.6 (0.29)	2.7	0.20	2.2	0.0170 (0.102)	5.3 (2.41)
H33XXHP-LXX-NS-00	21-3450D200-B027	8.1	703 (4.96)		541 (3.82)	26.6 (0.19)	2.0	0.27	3.5	0.0250 (0.151)	7.6 (3.45)
E33XXHP-LXX-NS-00	802-D3450B027	8.1	1012 (7.15)	1286 (9.08)	778 (5.50)	69.3 (0.45)	2.0	0.27	3.3	0.0250 (0.151)	7.6 (3.45)
H34HXHP-LXX-NS-00	21-3462D200-B033	8.0	930 (6.57)		715 (5.05)	35.0 (0.25)	1.7	0.33	5.2	0.0350 (0.211)	9.7 (4.41)
E34HXHP-LXX-NS-00	802-D3462B033	8.0	1330 (9.39)	1696 (11.98)	1023 (7.23)	83.0 (0.59)	1.7	0.33	4.2	0.0350 (0.211)	9.7 (4.41)

All ratings typical and at 25°C unless otherwise noted.

Δ An "X" in the Model Number Code indicates an undefined option. See How to Order and Model Number Code on page 64.

Δ Windings at 130°C and motor in still air at 40°C unmounted (without heat sink).

Δ Operation of "H" type motors above rated current may cause demagnetization. Contact factory.

Δ Torque at 50 steps per second with rated current and voltage applied is provided as a widely applicable performance indicator. Motor torque at this step rate is not driver-voltage sensitive.

Δ Thermal resistance measured with motor hanging in still air (unmounted).

Δ Small signal inductance as measured with impedance bridge at 1 kHz, 1 amp.

PERFORMANCE . . . NEMA 23 H Series (standard) and E Series (enhanced) hybrid step motors with laminated rotors

2" FRAME SIZE

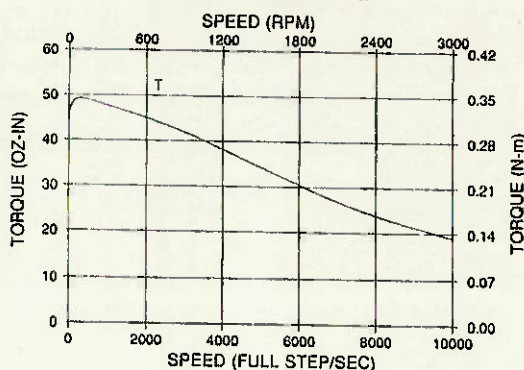
Motors will perform continuously in the full step mode as shown without the winding temperature rise exceeding 90°C when the motor is operated unmounted (without heat sink) in an ambient temperature of up to 40°C. The curves do not reflect systems resonance points, which will vary with motor coupling and system parameters.

In addition to those shown below, Pacific Scientific offers a wide range of other standard and non-standard windings to meet specific performance requirements. Consult factory.

PERFORMANCE AT 2.5A/35V PER PHASE

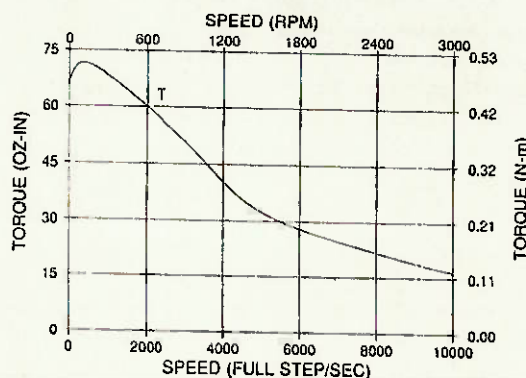
(HALF ROTOR STACK)

**H2HXXHT-LXX-NS-00
2.5A/35V PER PHASE**

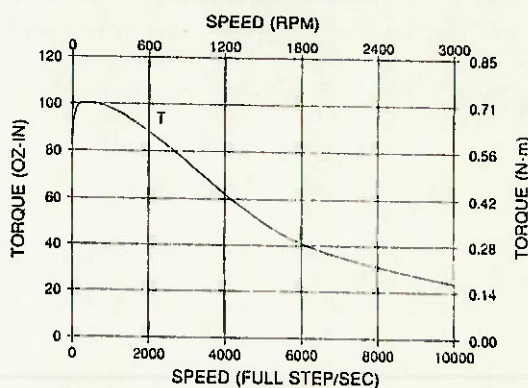


(ONE ROTOR STACK)

**H21XXHT-LXX-NS-00
2.5A/35V PER PHASE**



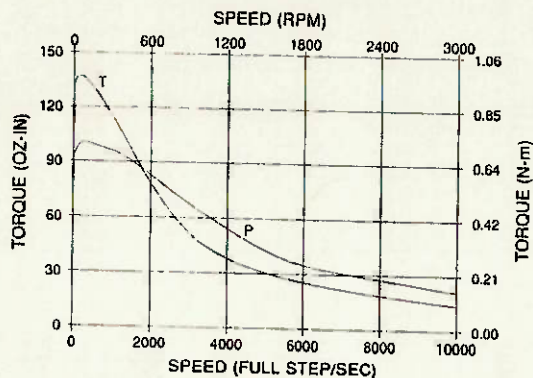
**E21XXHT-LXX-NS-00
2.5A/35V PER PHASE**



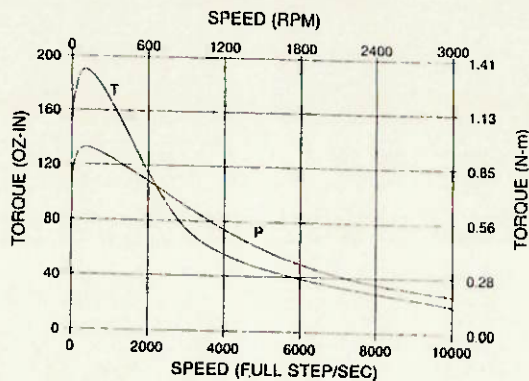
**PERFORMANCE AT 2.5A/35V
PER PHASE, CONTINUED**

(TWO ROTOR STACKS)

H22XXLT-LXX-NS-00
H22XXLP-LXX-NS-00
2.5A/35V PER PHASE



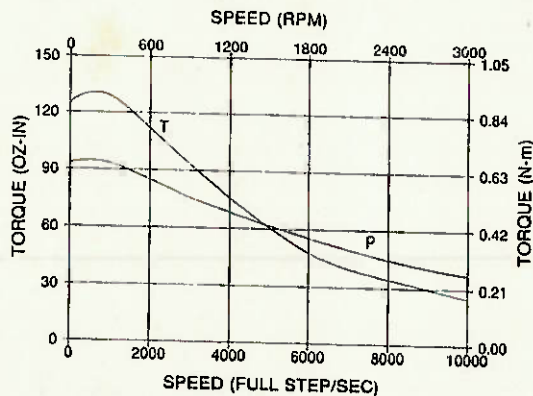
E22XXLT-LXX-NS-00
E22XXLP-LXX-NS-00
2.5A/35V PER PHASE



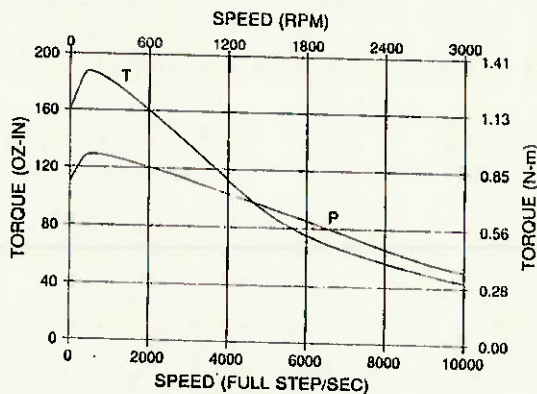
**PERFORMANCE AT 2.5A/65V
PER PHASE**

(TWO ROTOR STACKS)

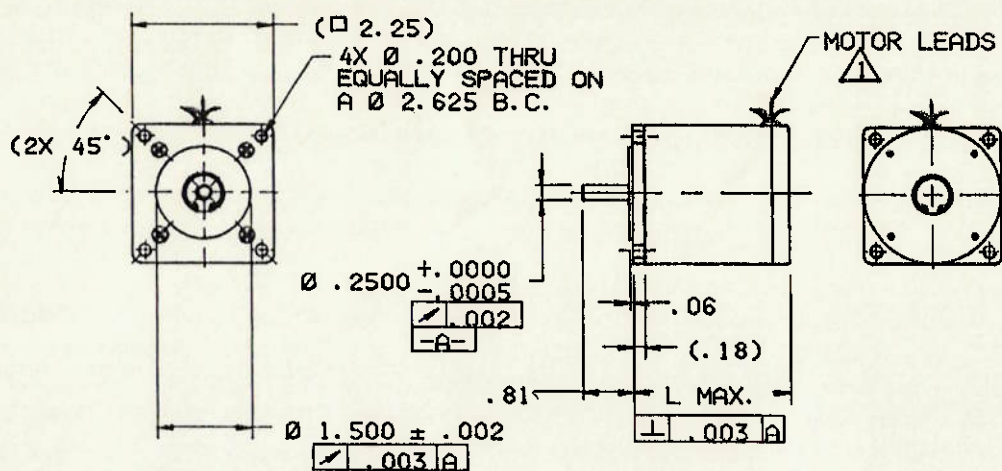
H22XXLT-LXX-NS-00
H22XXLP-LXX-NS-00
2.5A/65V PER PHASE



E22XXLT-LXX-NS-00
E22XXLP-LXX-NS-00
2.5A/65V PER PHASE



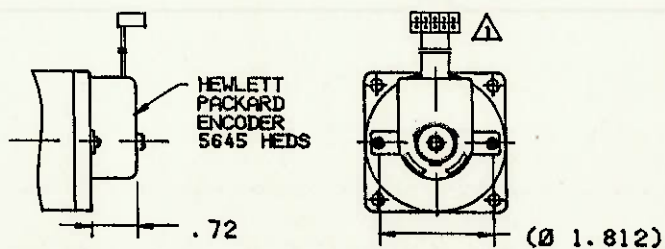
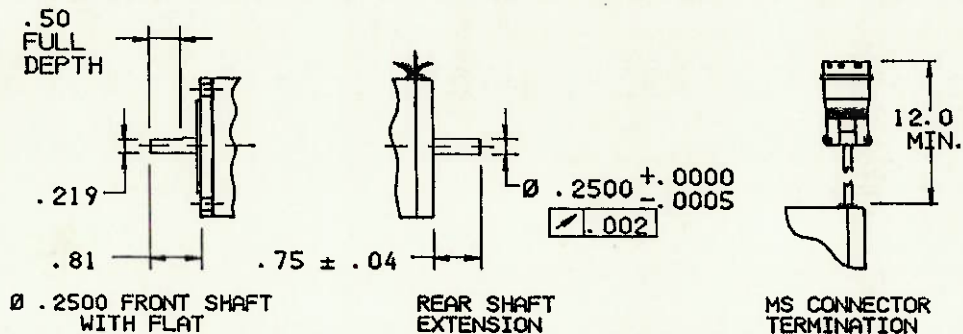
DIMENSIONS . . . NEMA 23 H Series (standard) and E Series (enhanced) hybrid step motors with laminated rotors



MODEL	L MAX.
2HNR	1.56
21NR	2.06
22NR	3.06

$\triangle$ Motor Leads: #22 AWG. 12.0" Min.

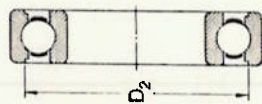
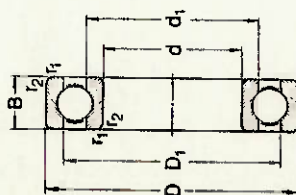
STANDARD OPTIONS



$\triangle$ Encoder Option—See page 98 for additional information on connectors and encoders.

ANEXO.5

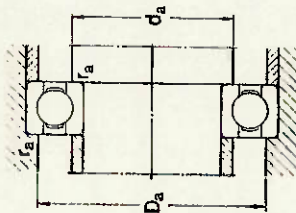
CATÁLOGOS SKF



Cantos sem
ranhuras

Cantos com
ranhuras

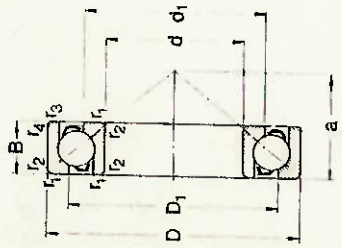
Dimensões principais			Capacidade de carga dinâm. C	Capacidade de carga estát. C ₀	Limite de rotação Lubrificação c/ graxa óleo	Massa	Designação	
d	D	B						
mm								
N								
r/min								
kg								
3	10	4	488	170	40 000	48 000	0,0015	623
4	9	2,5	540	183	45 000	53 000	0,0070	618/4
	13	5	884	315	38 000	45 000	0,0031	624
	16	5	1 110	440	34 000	40 000	0,0054	634
5	11	3	637	232	40 000	48 000	0,0012	618/5
	16	5	1 110	440	34 000	40 000	0,0050	625
	19	6	1 720	720	32 000	38 000	0,0080	635
6	13	3,5	884	325	38 000	45 000	0,0020	618/6
	19	6	1 720	720	32 000	38 000	0,0084	626
7	14	3,5	956	360	38 000	45 000	0,0022	618/7
	19	6	1 720	720	34 000	40 000	0,0075	607
	22	7	3 250	1 340	30 000	36 000	0,013	627
8	16	4	1 330	530	36 000	43 000	0,0030	618/8
	22	7	3 250	1 340	32 000	38 000	0,012	608
9	17	4	1 430	585	34 000	40 000	0,0034	618/9
	24	7	3 710	1 530	30 000	36 000	0,014	609
	26	8	4 620	1 860	26 000	32 000	0,020	629
10	19	5	1 480	630	32 000	38 000	0,0055	61800
	26	8	4 620	1 860	28 000	34 000	0,019	6000
	28	8	4 620	1 860	28 000	34 000	0,022	16100
	30	9	5 070	2 240	24 000	30 000	0,032	6200
	35	11	8 060	3 750	20 000	26 000	0,053	6300
12	21	5	1 430	695	30 000	36 000	0,0063	61801
	26	8	5 070	2 240	26 000	32 000	0,022	6001
	30	8	5 070	2 240	24 000	30 000	0,023	16101
	32	10	6 890	3 100	22 000	28 000	0,037	6201
	37	12	9 750	4 650	19 000	24 000	0,060	6301
15	24	5	1 560	815	26 000	32 000	0,0074	61802
	32	8	5 590	2 500	22 000	28 000	0,025	16802
	32	9	5 590	2 500	22 000	28 000	0,030	6002
	35	11	7 800	3 550	19 000	24 000	0,045	6202
	42	13	11 400	5 400	17 000	20 000	0,082	6302



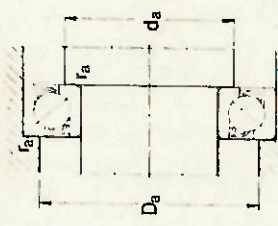
Outras dimensões				Dimensões de encostos			
d	d ₁ mín	D ₁ mín	D ₂ mín	r _{1,2} mín	d _a mín	D _a mín	f _a mín
mm							

3	5,2	7,5	8,2	0,15	4,2	8,8	0,1
4	5,2	7,5	11,2	0,15	5,2	7,8	0,1
	6,7	10,3	13,3	0,2	5,6	11,4	0,2
	8,4	12	13,3	0,3	6	14	0,3
5	6,8	9,2	12	0,15	6,2	9,8	0,1
	8,4	12	13,3	0,3	7	14	0,3
	10,7	15,3	16,5	0,3	7	17	0,3
6	7,9	11,1	16,5	0,15	7,2	11,8	0,1
	10,7	15,3	16,5	0,3	8	17	0,3
7	8,9	12,1	16,5	0,15	8,2	12,8	0,1
	10,7	15,3	19	0,3	9	17	0,3
	11,8	17,6	19	0,3	9	20	0,3
8	10,1	13,9	19	0,2	9,6	14,4	0,2
	11,8	17,6	19	0,3	10	20	0,3
9	11,1	14,9	21,2	0,2	10,6	15,4	0,2
	14,4	21,4	22,6	0,3	11	24	0,3
10	12,6	16,4	22,6	0,3	12	17	0,3
	14,4	21,4	22,6	0,3	12	24	0,3
	14,7	22,3	24,8	0,3	12	26	0,3
	16,7	23,2	24,8	0,6	14	26	0,6
	17,7	26,8	28,7	0,6	14	31	0,6
12	15	18,2	24,8	0,3	14	19	0,3
	16,7	23,4	24,8	0,3	14	26	0,3
	17,7	25,3	27,4	0,3	14	28	0,3
	18,2	25,9	27,4	0,6	16	28	0,6
	19,5	29,7	31,5	1	17	32	1
15	17,9	21,1	28,2	0,3	17	22	0,3
	20,2	27	28,2	0,3	17	30	0,3
	20,2	27	30,4	0,3	17	30	0,3
	21,5	29,2	30,4	0,6	19	31	0,6
	23,7	33,9	36,3	1	20	37	1

Rolamentos de uma carreira de esferas
de contato angular
d 10-70 mm



Dimensões principais			Capacidade de carga dinâm. C	estát. C ₀	Limite de rotação graxa óleo	Massa	Designação
d	D	B					
mm							
mm			N	r/min	kg	-	
10	30	9	4 940	2 120	19 000	28 000	0,031 7200 B
12	32	10	7 020	3 050	17 000	24 000	0,045 7201 B
15	35	11	8 050	3 650	16 000	22 000	0,048 7202 B
	42	13	11 700	5 300	14 000	19 000	0,090 7302 B
17	40	12	9 950	4 750	14 000	19 000	0,070 7203 B
	47	14	14 800	7 200	12 000	17 000	0,12 7303 B
20	47	14	13 300	6 550	11 000	16 000	0,11 7204 B
	52	15	17 400	8 500	10 000	15 000	0,15 7304 B
25	52	15	14 800	7 650	9 500	14 000	0,13 7205 B
	62	17	24 200	12 700	8 500	12 000	0,25 7305 B
30	62	16	20 300	11 000	8 500	12 000	0,21 7206 B
	72	19	31 200	17 000	7 500	10 000	0,37 7306 B
35	72	17	27 000	15 000	7 500	10 000	0,30 7207 B
	80	21	36 400	20 400	7 000	9 500	0,51 7307 B
40	80	18	31 900	18 600	6 700	9 000	0,39 7208 B
	90	23	44 900	25 500	6 300	8 500	0,67 7308 B
45	85	19	35 800	21 200	6 300	8 500	0,44 7209 B
	100	25	58 500	34 500	5 600	7 500	0,90 7309 B
50	90	20	37 700	22 800	5 600	7 500	0,49 7210 B
	110	27	67 600	45 000	5 000	6 700	1,15 7310 B
55	100	21	46 200	28 500	5 300	7 000	0,65 7211 B
	120	29	79 300	48 000	4 500	6 000	1,45 7311 B
60	110	22	55 900	35 500	4 800	6 300	0,84 7212 B
	130	31	90 400	56 000	4 300	5 600	1,85 7312 B
65	120	23	63 700	41 500	4 300	5 600	1,05 7213 B
	140	33	101 000	64 000	4 000	5 300	2,25 7313 B
70	125	24	68 900	45 500	4 300	5 600	1,15 7214 B
	150	35	114 000	72 000	3 600	4 800	2,75 7314 B



Outras dimensões				Dimensões de encostos			
d	d ₁	D ₁	r _{1,2}	r _{3,4}	a	d _a	r _a
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	18,3	22	0,6	0,3	13	15	25
12	19,9	25	0,6	0,3	14	17	27
15	23,2	28,2	0,6	0,3	16	20	30
15	25,9	32,6	1	0,6	19	21	36
17	26,1	31,8	0,6	0,6	18	22	35
17	29	36,2	1	0,6	21	23	41
20	30,7	37,4	1	0,6	21	26	41
20	32,7	40,7	1,1	0,6	23	27	45
25	36,3	42,9	1	0,6	24	31	46
25	39,7	48,9	1,1	0,6	27	32	55
30	42,7	50,6	1	0,6	27	36	56
30	47,7	58	1,1	0,6	31	37	65
35	49,7	59,8	1,1	0,6	31	42	65
35	52,8	64,1	1,5	1	35	44	71
40	55,9	65,7	1,1	0,6	34	47	73
40	59,8	72,3	1,5	1	38	49	81
45	60,6	71,1	1,1	0,6	37	52	78
45	66,5	80,9	1,5	1	43	54	91
50	65,6	76,1	1,1	0,6	39	57	83
50	73,4	89,3	2	1	47	60	100
55	72,6	84,3	1,5	1	43	64	91
55	80,4	97,5	2	1	51	65	110
60	79,5	92,7	1,5	1	47	69	101
60	87,4	106	2,1	1,1	56	72	118
65	86,8	101	1,5	1	50	74	111
65	94,3	114	2,1	1,1	60	77	128
70	91,5	106	1,5	1	53	79	116
70	101	123	2,1	1,1	64	82	138

ANEXO.6

ESPECIFICAÇÕES DA INTERFACE

SMC925/06

SMC925-INTERFACE CONTROLADORA DE MOTOR DE PASSO PADRÃO IBM-PC

PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

A interface SMC925, foi desenvolvida com o objetivo de controlar até 4 motores de passo através dos acionadores SMD920. Esta interface possui 8 saídas digitais S1 a S8, que podem ser isoladas (ou não) opticamente do barramento do microcomputador caso seja necessário.

A interface SMC925 vem formatada sem este isolamento, uma vez que o acionador SMD920, já possui isolamento óptico nas suas entradas, caso seja necessário uma linha de transmissão totalmente isolada será preciso uma fonte de alimentação externa (Ver esquemas em anexo).

Fácil de operar, bastando enviar o byte correspondente ao endereço do dispositivo de saída. A interface SMC925 vem formatada para operar no endereço 300H a 308H, podendo ser alterado para outro endereço caso este endereço já esteja sendo utilizado.

Esta interface também possui 2 entradas digitais bipolares isoladas opticamente (E1 e E2) que permitem a sincronização com outros dispositivos como por exemplo: sensores de fim de curso, termostatos, pressostatos, etc.

Além destas linhas a Interface SMC925, ainda possui um temporizador interno que desativa as saídas caso o programa pare de rodar por qualquer motivo.

Pela sua facilidade de aplicação é possível controlar além de motores de passo qualquer dispositivo que possua uma entrada compatível com as saídas do SMC925.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Apliação	:	microcomputador IBM/PC
Dimensões:	:	110 x 125 mm
Saídas	:	8 saídas digitais (S1 a S8): +0V a +5V Rint=330 opc.SMC925/00/ +0V a +12V Rint=2,2k opc.SMC925/06/ -12V a +12V Rint=5k opc.SMC925/07/ isolada opticamente "O.C" opc.SMC925/0C/
Entradas	:	2 entradas digitais (E1 e E2) isoladas opticamente +10 mA, 0mA, -10mA, Rent=220 ohms

Temporizador : após 10 s sem a ativação do programa desativa todos os acopladores ópticos.
opc.SMC925/XX/T

INSTALAÇÃO

Antes de instalar sua placa certifique-se que seu micro está desligado e que nenhum outro cartão está utilizando o endereço 300H a 308H. . Instale o cartão em algum "slot" livre com exceção do "slot 8 ". Conecte os acionadores as saídas S1 a S8 (conforme diagrama anexo), ligue o microcomputador, a alimentação dos motores de passo . Caso deseje execute as rotinas de acionamento que estão neste manual. Estas rotinas de acionamento foram escritas em BASIC, e tem função puramente didática. Melhores resultados serão obtidos com outras linguagens de programação mais avançadas.

PROGRAMAÇÃO

A Interface SMC925, funciona basicamente como uma memória do dado (1 byte) enviado ao endereço 300H (768) do dispositivo de entrada e saída. Este dado permanecerá ativo nas saídas S1 a S8, até que um novo dado seja enviado.

No caso de se utilizar as entradas E1 e E2, deve ser lido no no mesmo endereço (300H), através de uma instrução de leitura como o INP(768), o dado resultante aparecerá nos 4 bits menos significativos do barramento de dados. A tabela a seguir apresenta os valores dependendo dos sinais presentes nas entradas E1 e E2.

Entradas E1 e E2		D0	D1	D2	D3	D4,D5,D6,D7			
E1 = 0	E2 = 0	0	0	0	0	X	X	X	X
E1 = +10mA	E2 = 0	0	1	0	0	X	X	X	X
E1 = -10mA	E2 = 0	1	0	0	0	X	X	X	X
E1 = 0	E2 = +10mA	0	0	0	1	X	X	X	X
E1 = 0	E2 = -10mA	0	0	1	0	X	X	X	X

As rotinas a seguir permitem o acionamento de um acionador SMD920, ligadas às saídas S1, S2 e S3, desde que conectadas às entradas INP.PULSE, CW/CCW e CURRENT%, respectivamente.

Rotina para acionar 1 passo no sentido horário

```
10  OUT 768,0
15  FOR DEL = 1 TO 100 : NEXT DEL
20  OUT 768,1
40  RETURN
```

Rotina para acionar 1 passo sentido anti-horário

```
10  OUT 768,2
15  FOR DEL = 1 TO 100 : NEXT DEL
20  OUT 768,3
40  RETURN
```

Rotina para reduzir a corrente do motor de passo

```
5   OUT 768,4
10  RETURN
```

NOTA:

A linha 15 das rotinas acima são necessárias para gerar um "delay" de no mínimo 0,1 mS no programa . Os valores utilizados podem variar dependendo da velocidade do microcomputador. Caso o programa de controle rode num tempo menor que 0,1mS, será necessário introduzir um novo "delay" após a linha 20.

Para controlar outras placas basta enviar o dado correspondente a saída que se deseja acionar. (exemplo: para acionar a linha S5 deve-se utilizar a instrução OUT 768,16)

ANEXO.7

LISTAGEM DO PROGRAMA DE CONTROLE

```

#include "math.h"
#include "dos.h"

#define MAXITER 8

#define SETUP 1
#define MOVE 2
#define ERROR 200

#define TRUE 1
#define FALSE 0

#define HORIZONTAL 1
#define VERTICAL 2
#define ANGULAR 3
#define MICROSWHORIZ 4
#define MICROSWANG 5

/*****
*
* zeromaquina: faz a busca do zero-maquina, na seguinte ordem: vertical,
*               angular e horizontal.
*
* valores de retorno: nenhum
* funcoes chamadas: microswitch
*               step
*
*****/
void zeromaquina(void)
{
    while ( !microswitch(VERTICAL) )
        step(VERTICAL, -1);
    while ( !microswitch(ANGULAR) )
        step(MICROSWANG, -1);
    while ( !microswitch(HORIZONTAL) )
        step(MICROSWHORIZ, -1);
};

/*****
*
* dress: executa a operacao de dressagem, movimentando a ferramenta de
*        acordo com as funcoes parametrizadas x(t), y(t) e ang(t),
*        definidas em outra parte do código.
*
* valores de retorno: nenhum
* funcoes chamadas: interp
*
*****/
dress(double t0, double t1, double passobase)
{
    double xant, yant, angant, t, passo;
    double dx, dy, dang;
    int iter;

    passo=passobase;
    t=t0;
    while (t<t1)
    {
        iter=0;
        do
        {
            t=tant+passo;
            dx = abs( x(t) - xant );
            dy = abs( y(t) - yant );
            if ( ( (dx>10) || (dy>10) ) && (iter<MAXITER) )
            {
                passo = passo/2;
                iter++;
            }
        } while ( ( (dx>10) || (dy>10) ) && (iter<MAXITER) );
        interp(SETUP, xant, yant, angant, x(t), y(t), ang(t));
        while ( !interp(MOVE, xant, yant, angant, x(t), y(t), ang(t)) );
    };
};

/*****
*
* interp: move a ferramenta segundo uma linha reta entre dois pontos

```

```

*      fornecidos, com posicionamento angular de acordo com dois
*      angulos fornecidos tambem.
*
*  obs: para utilizar esta funcao deve-se primeiro dar o comando "SETUP"
*  e depois ir chamando a funcao com o comando "MOVE", ate que a funcao
*  retorne TRUE.
*
*  valores de retorno: FALSE, caso nao tenha chegado ao fim do movimento
*                      TRUE, caso tenha chegado ao fim do movimento
*
*  funcoes chamadas: step
*
*****/
interp(int command, double x1, double y1, double angl,
       double x2, double y2, double ang2)
{
    static double  taxax, taxay, taxaang;
    double        dx, dy, dang;
    static int     fimx, fimy, fimang;
    static int     vaturalx, vaturaly, vaturalang;
    static double  vfinalx, vfinaly, vfinalang;
    static int     dirx, diry, dirang;

    if (command==SETUP)
    {
        dx = (x2-x1);
        dy = (y2-y1);
        dang = (ang2-ang1);
        if ( (dx!=0) && (dy!=0) )
        {
            if ( fabs(dx) >= fabs(dy) )
            {
                taxax = ( (dx>0) ? 1 : -1 );
                dirx = (dx>0);
                taxay = ( (taxax>0) ? dy/dx : -dy/dx );
                diry = (dy>0);
                taxaang = ( (taxax>0) ? dang/dx : dang/dx );
                dirang = (dang>0);
            } else {
                taxax = ( (dy>0) ? 1 : -1 );
                taxay = ( (taxay>0) ? dx/dy : -dx/dy );
                taxaang = ( (taxay>0) ? dang/dy : dang/dy );
            }
        } else {
            taxax = 0;
            taxay = 0;
            taxaang = ( (dang>0) ? 1 : -1 );
            dirang = (dang>0);
        }
        vaturalx = (int) x1;
        vaturaly = (int) y1;
        vaturalang = (int) angl;
        vfinalx = x2;
        vfinaly = y2;
        vfinalang = ang2;
        fimx = fimy = fimang = FALSE;
        if (taxax==0) fimx = TRUE;
        if (taxay==0) fimy = TRUE;
    }

    if (command==MOVE)
    {
        vaturalx += taxax;
        vaturaly += taxay;
        vaturalang += taxaang;
        if ( (vaturalx > (vantx+1)) && !(fimx) )
        {
            vantx++;
            step(HORIZONTAL,dirx);
        }
        if ( (vaturaly > (vanty+1)) && !(fimy) )
        {
            vanty++;
            step(VERTICAL,diry);
        }
        if ( (vaturalang > (vantang+1)) && !(fimang) )
        {
            vantang++;
            step(ANGULAR,dirang);
        }
        if ( ((dirx<0) && ((double) vantx <= vfinalx)) ||
              ((dirx>0) && ((double) vantx >= vfinalx)) ) fimx = TRUE;
        if ( ((diry<0) && ((double) vanty <= vfinaly)) ||
              ((diry>0) && ((double) vanty >= vfinaly)) ) fimy = TRUE;
        if ( ((dirang<0) && ((double) vantang <= vfinalang)) ||
              ((dirang>0) && ((double) vantang >= vfinalang)) ) fimang = TRUE;
        return (fimx & fimy & fimang);
    }
}

```

```

};

return ERROR;
};

/*****
*
* microswitch: retorna 0 se o microswitch nao esta acionado e qualquer
*               outro valor se o microswitch estiver acionado.
*
*****/
int microswitch(int command)
{
    if ( command == VERTICAL )
        return ( inport(768) && 2 );
    if ( command == HORIZONTAL )
        { outportb(768,64);
          return ( inport(768) && 8 ); };
    if (command == ANGULAR)
        { outportb(768,0);
          return ( inport(768) && 8 ); };
};

/*****
*
* step: faz com que o motor de um passo no movimento desejado, na
*       direcao desejada.
*
*****/
void STEP(int command, int direction)
{int i;
 unsigned char auxiliar;

    auxiliar = ((direction>0)?2:0);

    if (command == VERTICAL)
        { auxiliar = ((direction>0)?2:0);
          outportb(768,0+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
          outportb(768,1+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
        }
    if (command == HORIZONTAL)
        { auxiliar = ((direction>0)?8:0);
          outportb(768,0+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
          outportb(768,1+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
        }
    if (command == ANGULAR)
        { auxiliar = ((direction>0)?32:0);
          outportb(768,0+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
          outportb(768,1+auxiliar);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
        }
    if (command == MICROSWHORIZ)
        { auxiliar = ((direction>0)?8:0);
          auxiliar += 64;
          outportb(768,0);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
          outportb(768,1);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
        }
    if (command == MICROSWANG)
        { auxiliar = ((direction>0)?32:0);
          outportb(768,0);
          for (i=1;i<2;i++);          /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
                                          /*** delay de 0.1 ms          ***/
        }
}

```

```

        outportb(768,1);
        for (i=1;i<2;i++) ; }
    }

    /*** Calibrar esta linha for para gerar ***/
    /*** delay de 0.1 ms ***/

/*****
*
* PROGRAMA PRINCIPAL
*
* valores de retorno: nenhum
* parametros de linha: nenhum
*
*****/
void main(void)
{
    zeimaquina();

    /* Aqui dever ser entradas os comandos que chamam a rotina
       dress com os valores corretos de inicio e fim do parametro t
       para o perfil a ser usinado. */
}

/*****
*
* OBSERVAÇÕES DE COMPATIBILIDADE
*
* Nas funcoes step() e microswitch() foram utilizadas as seguintes funcoes:
*
* void outportb(int portid, unsigned char value)
* unsigned char inportb(int portid)
*
* essas funcoes sao exclusivas da linguagem C implementada pela Borland
* International para microcomputadores 80x86. Se for utilizado outro
* compilador para gerar o programa executavel, sera NECESSARIO descobrir
* as instrucoes equivalentes a essas para o novo compilador.
*****/

```

ANEXO.8

ESPECIFICAÇÕES DA RETIFICADORA BASE DO PROJETO



INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO
DA
RETIFICADORA HIDRÁULICA PLANA TANGENCIAL
RPT-2

MELLO S.A. MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
SÃO PAULO
BRASIL

I) CARACTERÍSTICAS

1. Capacidade de retificação

Curso longitudinal da mesa	600 mm
Curso transversal do carro	250 mm
Superfície de trabalho da mesa	600 x 230 mm
Altura máxima do centro do rebolo à superfície da mesa	405 mm

2. Velocidades e avanços

Velocidade da mesa	0 a 17 m/min
Velocidade do movimento transversal contínuo	0 a 6 m/min
Velocidade do movimento contínuo vertical do cabeçote porta-rebolo	0,3 m/min
Avanço transversal intermitente automático por reversão da mesa	0 a 10 mm
Avanço transversal manual (escala do volante)	0,02 mm/divisão
Avanço vertical intermitente automático do cabeçote porta-rebolo por reversão da mesa ou do movimento transversal do carro	0,002 a 0,01 mm
Avanço vertical manual (escala do volante)	0,005 mm/divisão

3. Rebolo

Rotação	2400 RPM
Dimensões: diâmetro x espessura x furo (polegadas)	10" x 3/4" x 3"

4. Motores

Motor do rebolo	3 CV II p
Motor da bomba hidráulica	1 CV IV p
Motor do movimento rápido vertical	0,5 CV IV p
Motor da bomba de refrigeração	1/2 CV II p

5. Informações para transporte

Peso líquido da máquina com acessórios normais	1075 kg
Dimensões da caixa de embalagem: largura x profundidade x altura	2150 x 1350 x 1850 mm

6. Dimensões geométricas

As dimensões gerais da máquina estão indicadas na figura 1.

7. Acessórios

Observação: RPT-2	- máquina normal
RPT-2D	- máquina com perfilador pantográfico DIAFORM

- Normais:

- 1) 1 Sistema de refrigeração com tanque, moto-bomba, mangueiras, tubulações, registro e bocal de alimentação.
- 2) 1 Sistema de iluminação, sem a lâmpada (não para RPT-2D).
- 3) 1 Rebolo AA60K6V ϕ 10" x 3/4" x ϕ 3" (Especificação AA100H6V para RPT-2D).
- 4) 1 Rebolo C46M6V ϕ 10" x 3/4" x ϕ 3" (Especificação AA150H6V para RPT-2D).
- 5) 2 Flanges para os rebolos completos.
- 6) 1 Eixo para balanceamento de rebolos, ref. nº 151-0379.
- 7) 1 Balanceador estático de rebolos.
- 8) 1 Extrator de rebolos, ref. nº 151-0165.
- 9) 1 Afiador de rebolo, montado no cabeçote, sem o diamante. *01.*
- 10) 1 Afiador de rebolo de mesa, sem o diamante.
- 11) 3 Chapas guarda-respingos, ref. nº 151-0338, 151-0339, 151-0351.
- 12) 1 Correia plana de reposição para o motor do rebolo: 760 x 30 x 1,5 mm.
- 13) 3 Parafusos niveladores cabeça sext. ϕ 1/2" UNC x 2.1/2"

- Especiais:

- 1) 1 Diamante de 0,5 quilates, montado em cone Morse nº 1
- 2) 1 Placa magnética permanente, modelo PF, 500 x 200 mm, passo polar fino: 1,2 mm.
- 3) 2 Blocos auxiliares de transmissão do campo magnético: 80 x 60 x 30 mm.
- 4) 2 Blocos auxiliares de transmissão do campo magnético: 180 x 120 x 40 mm.
- 5) 1 Desmagnetizador, modelo 180, 220v/60hz, monofásico, 180 x 170 mm.
- 6) 1 Separador magnético para o líquido refrigerante modelo CC-75, montado sobre tanque de refrigeração apropriado.
- 7) 1 Aspirador de poeiras, AP-30, com bocal normal nº 24.
- 8) 1 Micro-leitor óptico SOPELEM 3120 da coordenada transversal.
- 9) 1 Revelador eletrônico digital SOPELEM 216.505 da coordenada vertical.
- 10) 1 Indicador de posição vertical do cabeçote, com relógio comparador JOHN BULL 2S ou FEDERAL W-P6I.
- (11) 1 Perfilador radial e angular do rebolo, PRA-10, sem o diamante.
- 12) 1 Perfilador pantográfico DIAFORM 5/1.
- 13) 1 Diamante adicional DIAFORM - Roughing 60°/.020"L.
- 14) 1 Diamante adicional DIAFORM - Finishing 60°/.010"L.
- 15) 1 Diamante adicional DIAFORM - Finishing 40°/.005"L.
- 16) 1 Bocal adicional para o aspirador AP-30 para utilização com o perfilador DIAFORM.
- 17) 3 Chumbadores com porcas e arruelas.
- 18) 1 Instalação elétrica de acordo com a norma internacional IEC 204-1.

II) DESCRIÇÃO GERAL

A retificadora hidráulica plana tangencial RPT-2 reúne as características de pequeno porte, grande precisão e máximo automatismo. Seus recursos operacionais podem ser analisados através da multiplicidade de sistemas de acionamento dos diversos movimentos e avanços.

Resumindo:

a) acionamento motorizado elétrico

- rotação do rebolo
- movimento rápido contínuo vertical do cabeçote porta-rebolo

b) acionamento hidráulico

- movimento longitudinal alternativo da mesa com reversões automáticas e velocidade regulável
- movimento transversal contínuo alternativo do carro com reversões automáticas e velocidade regulável
- avanço transversal intermitente, regulável e automático do carro por reversão da mesa
- avanço vertical intermitente regulável e automático do cabeçote porta-rebolo por reversão do movimento transversal do carro ou por reversão do movimento longitudinal da mesa, com indicador e pré-seletor do avanço total

c) acionamento manual

- movimento longitudinal da mesa
- movimento transversal do carro, contando com escala graduada e dispositivo para ajuste fino
- avanço vertical do cabeçote porta-rebolo com escala graduada e indicador-totalizador

A máquina obedece as tolerâncias especificadas pelos ensaios geométricos da norma internacional ISO 1986. Esta norma é plenamente coincidente com a norma brasileira MIC 28 (IPT-MFA5-05.43) e com a norma britânica BS 4656-7. Cópias do certificado de controle serão remetidas se solicitadas.

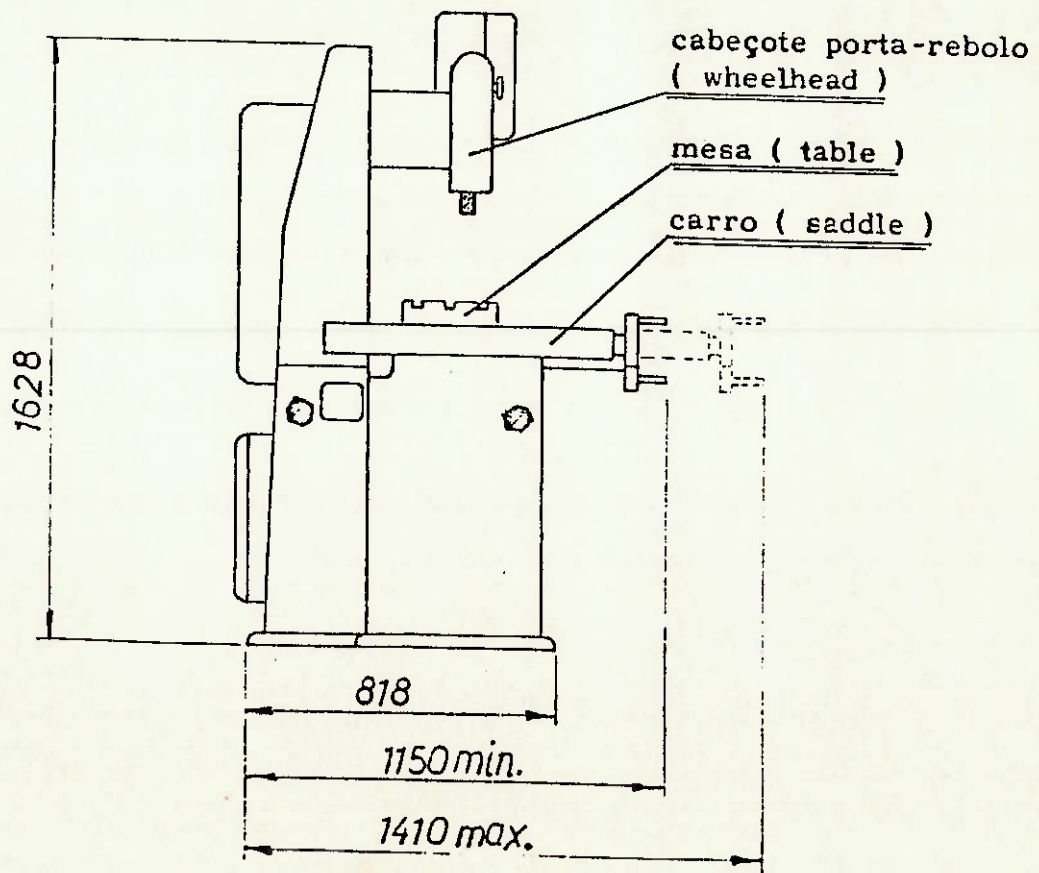
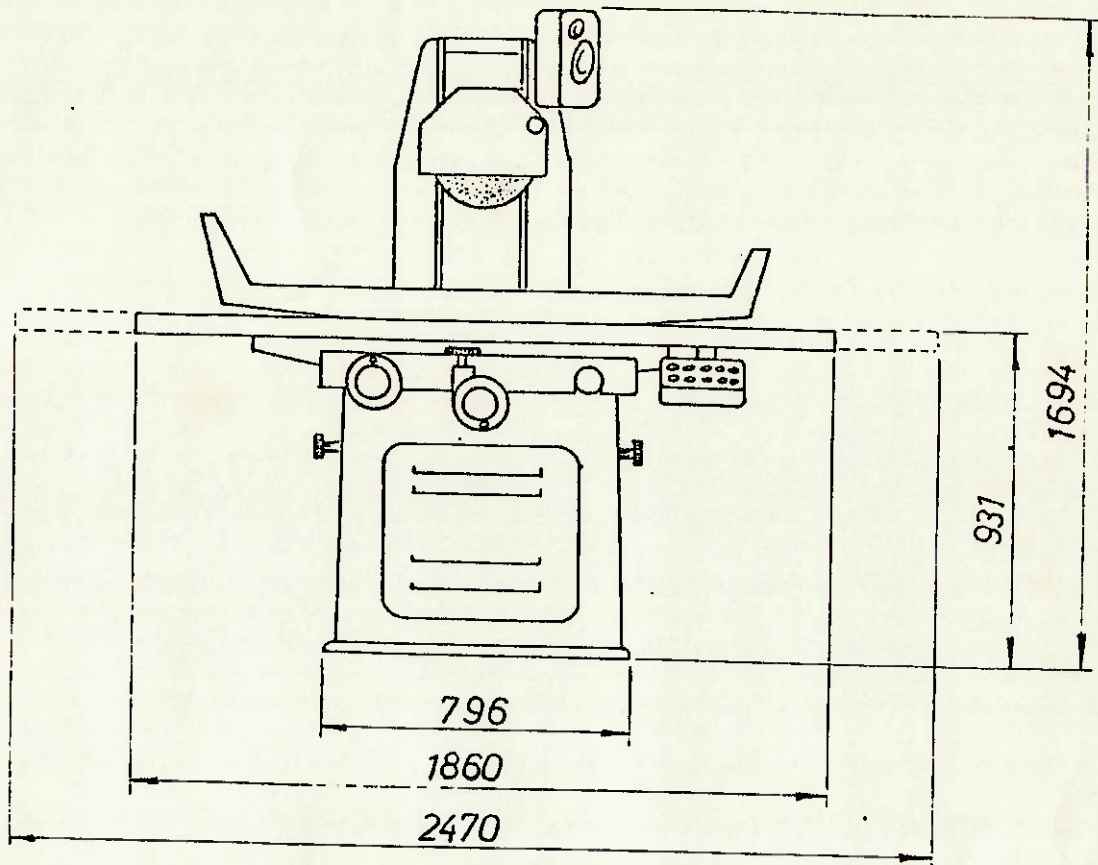
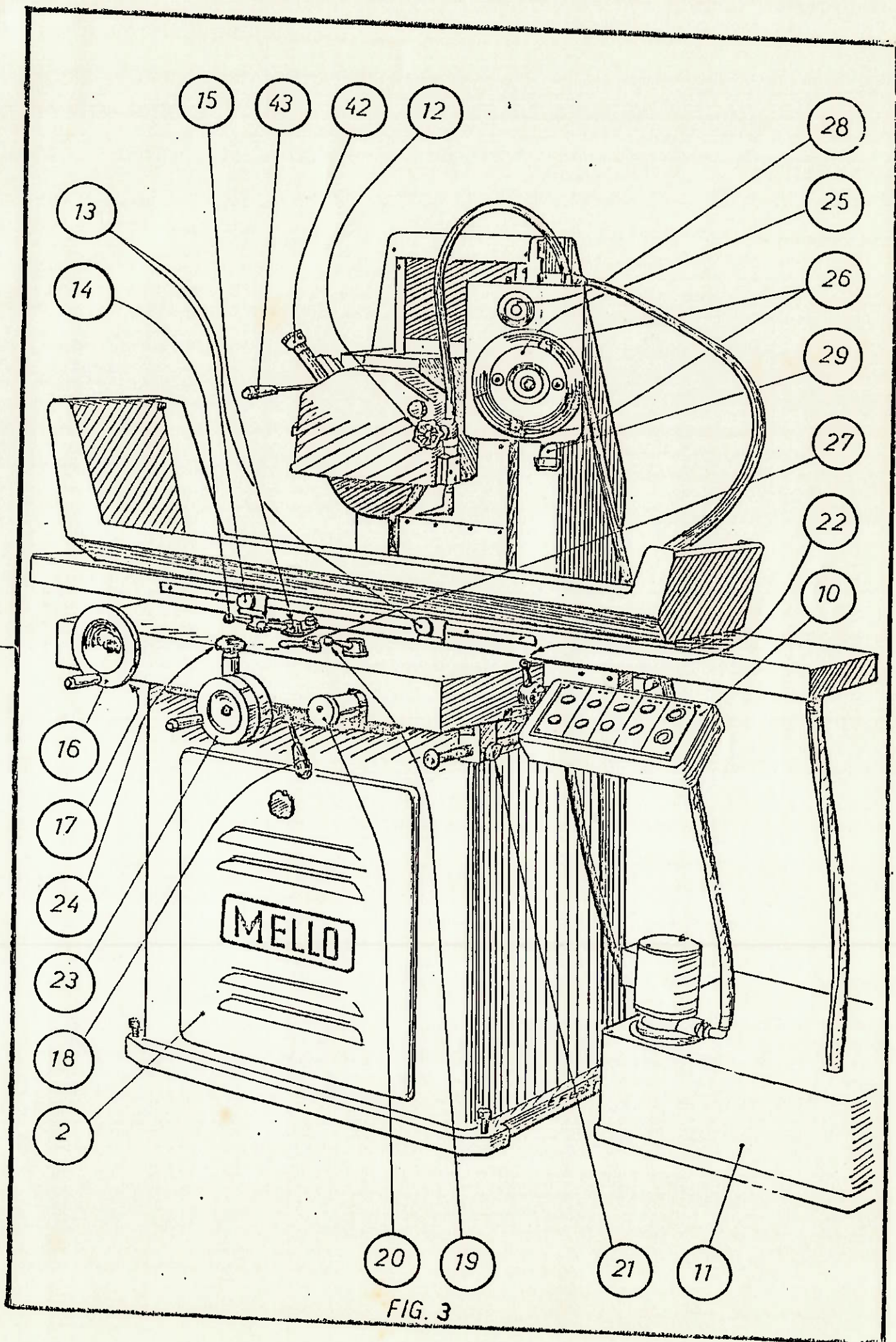


FIG. 1



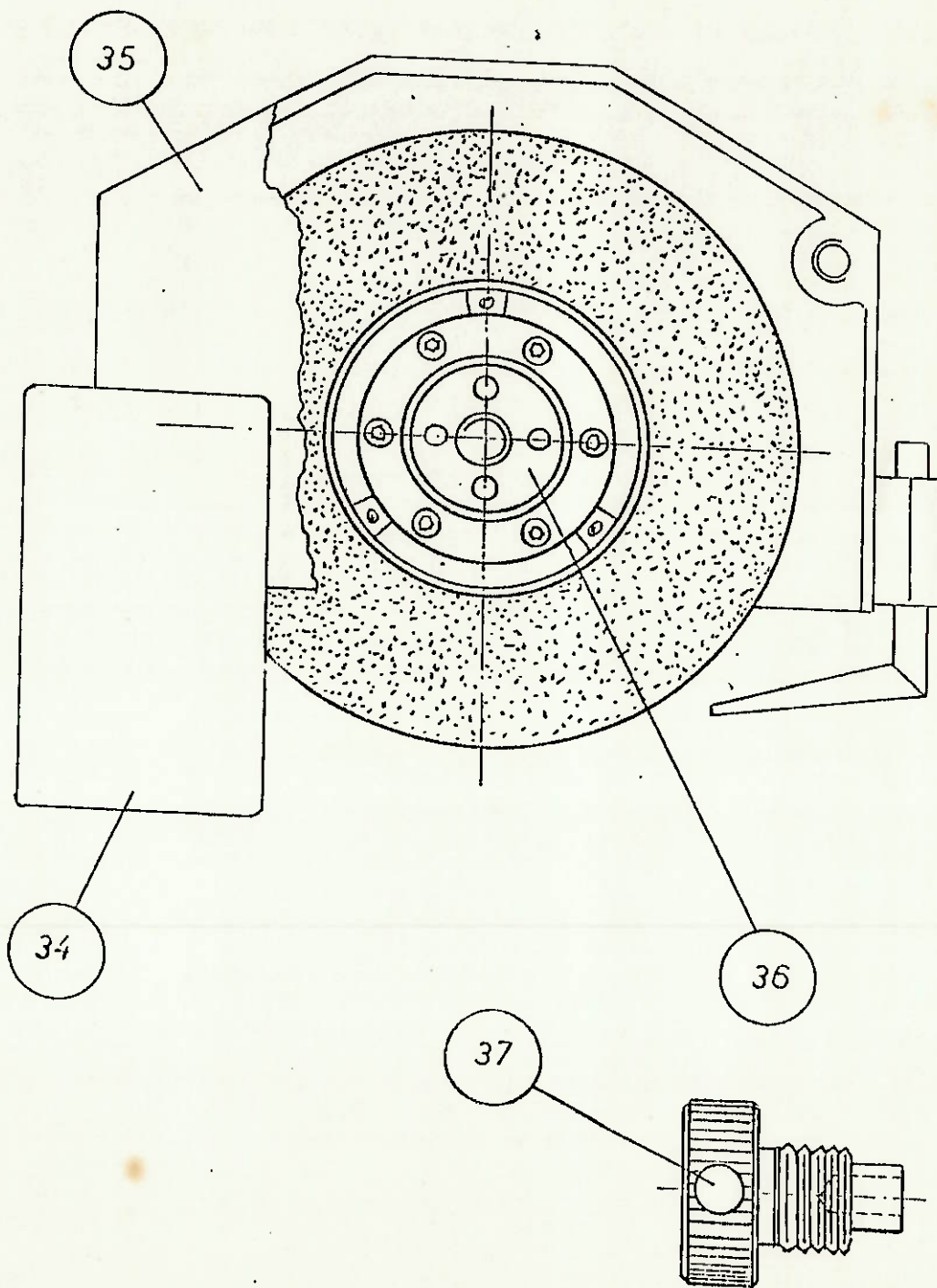
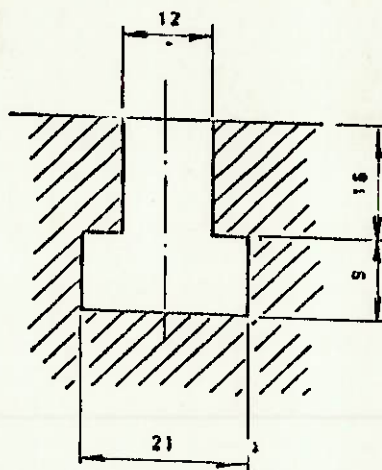
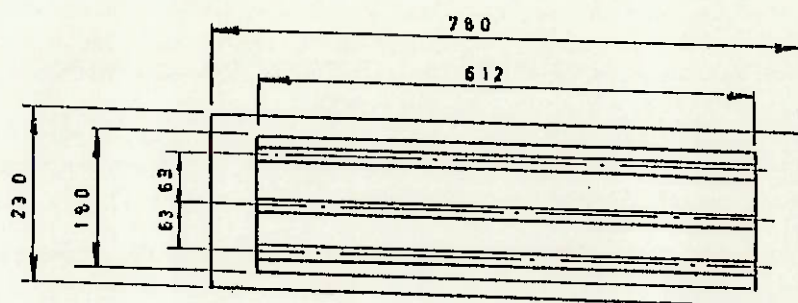


FIG. 12



RANHURAS "T" DA MESA

(DIMENSÕES CONFORME NORMA ISO 299)

FIG. 17

DESENHO.1

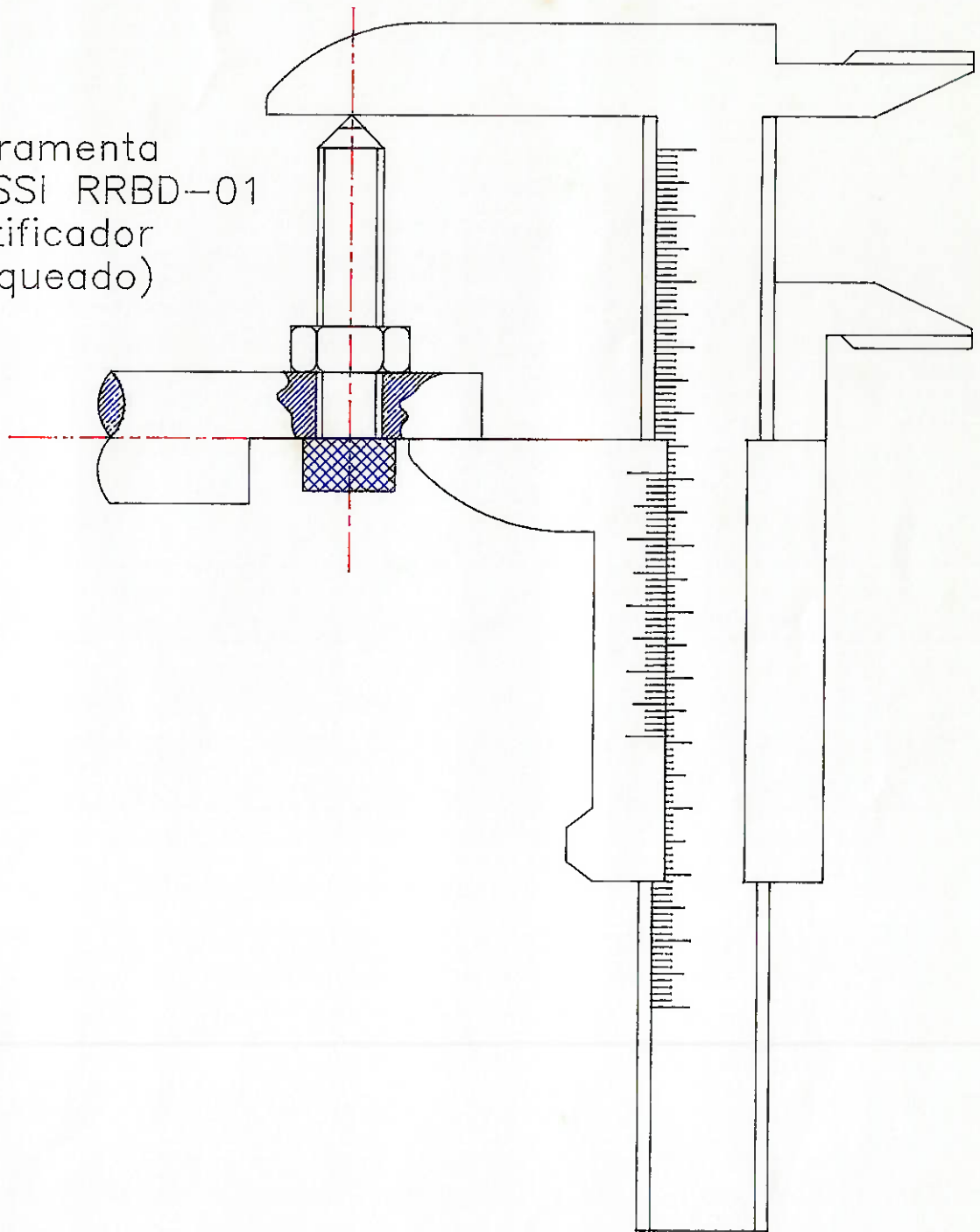
REDUTOR "ZERO-BACKSLASH"

DESENHO.2

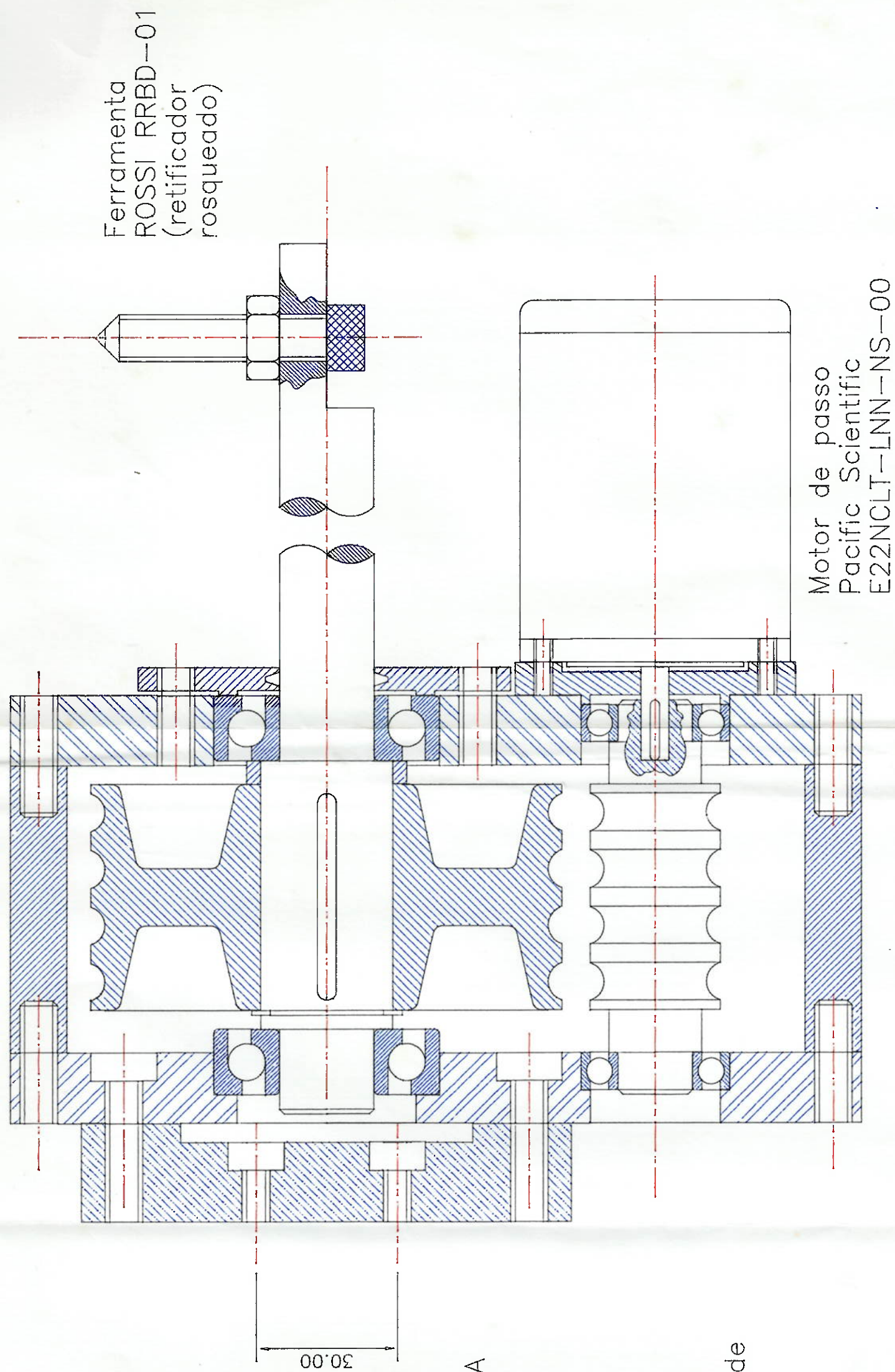
MÉTODO DE MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO DA FERRAMENTA

Paquímetro
preparado para
medir o comprimento
da ferramenta

Ferramenta
ROSSI RRBD-01
(retificador
rosqueado)



TÍTULO		DATA	
Medicao da ferramenta		27.Nov.93	
NOME		No. USP	
Fabio Luis De Paoli		1840570	EPUSP
ESCALA	DISCIPLINA	PROF.	
1:1	PMC581 Proj Mecanico 2	Carlos.C.C.Tu	



Esta dimensao deve ser mantida em 30 para que seja possibilitada a montagem, via parafusos M4, no Monocarrier MCM05020H10-000A

Rolamento do eixo de saida: SKF 7204B

Rolamento do eixo motor: SKF 6002

Material da estrutura: Aluminio

Material do eixo de saida: Aco 1045

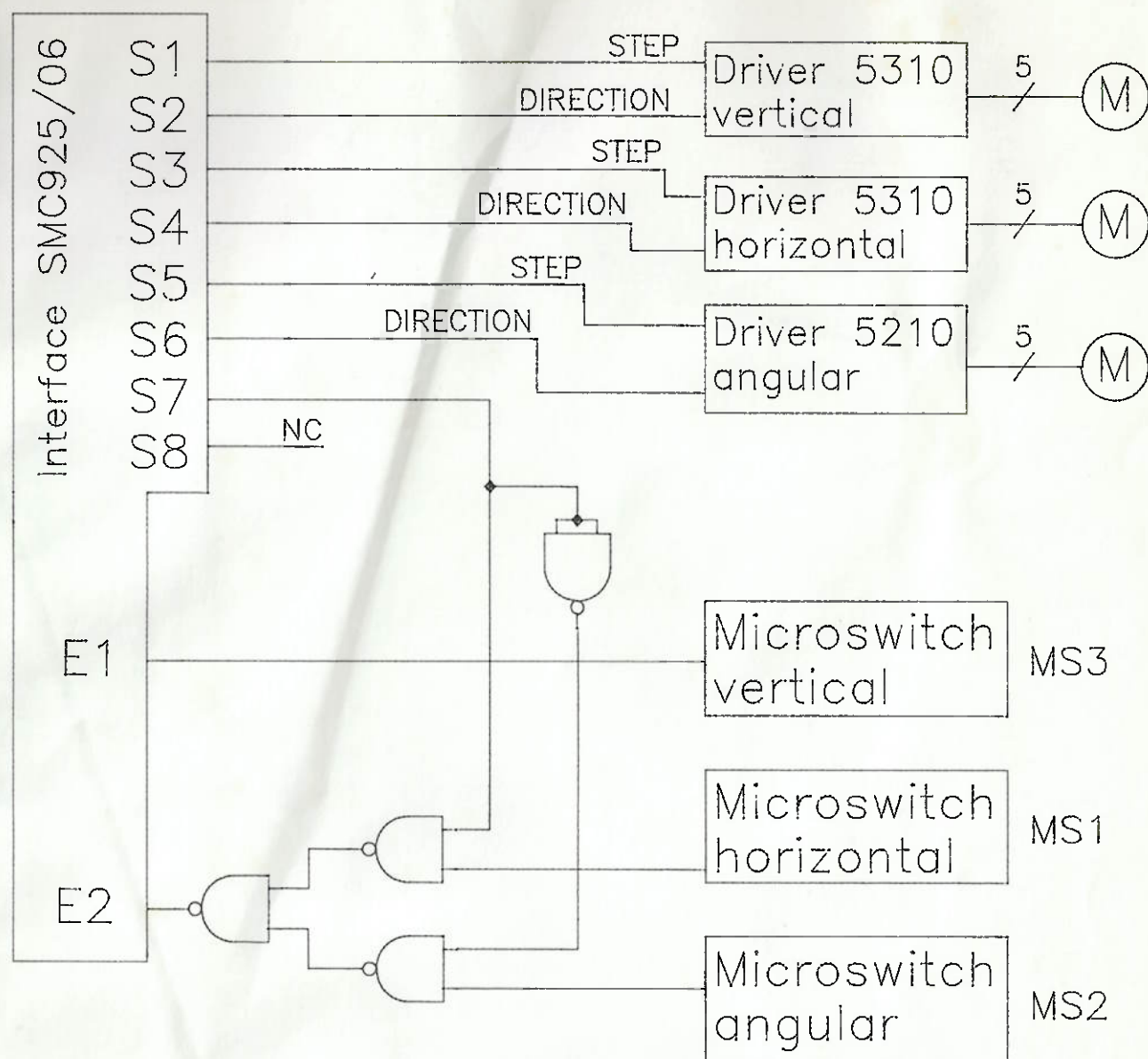
TITULO		DATA
Redutor " zero—backslash"		25.Nov.93
NOME		No. USP
Fabio Luis De Paoli		1840570
ESCALA	DISCIPLINA	PROF.
1:1	PMC581 Proj Mecanico 2	Carlos.C.C.Tu

DESENHO.3

DESENHO DO DISPOSITIVO TODO

DESENHO.4

LIGAÇÕES ELETRÔNICAS DO SISTEMA



S7	MS1	MS2	E2
#	0	0	0
1	0	#	0
1	1	#	1
0	#	0	0
0	#	1	1

Os microswitches MS1 e MS2 compartilham a entrada E2 através do circuito combinatório comandado por S7.

O circuito combinatório necessita de 4 portas NAND tipo TTL

TITULO		DATA	
Esquema eletronico		4.Dez.93	
NOME		No. USP	EPUSP
Fabio Luis De Paoli		1840570	
ESCALA	DISCIPLINA		PROF.
1:1	PMC581 Proj Mecanico 2		Carlos.C.C.Tu