

Projecto de uma máquina especial para maquinação

André Joaquim Ribeiro Vieira

Relatório do projecto final de curso

Orientador:
Eng. Adérito Barroso Sequeira Varejão



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Opção de Projecto e Construções Mecânicas

Julho de 2009

Ao meu irmão Flávio José Ribeiro Vieira

A todos os que sem pedir nada em troca têm sempre disponibilidade para ajudar

Resumo

Este trabalho consiste na concepção de uma máquina especial para acabamento de um apoio de motor de um modelo da *Audi*. A máquina em questão terá que efectuar as operações de fresagem, furação e roscagem deste componente mecânico de um modo automático. A solução encontrada possui quatro estações e três postos de trabalho (fresagem, furação e roscagem).

Para este projecto terá que ser concebido um sistema de fixação da peça bem como um sistema de transferência de estação. Também terão que ser escolhidas as unidades de maquinação e será necessário projectar a forma como estas vão ser implementadas. De seguida será concebida a estrutura e blindagem da máquina. Por fim terá que ser projectado o sistema hidráulico e pneumático.

O projecto tem o intuito de pôr em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso e articulá-los de forma a produzir uma solução prática, funcional e o mais simples possível para desempenhar as tarefas pretendidas.

Abstract

This assignment consists in the conception of a special purpose machine for finishing a car engine support of an *Audi* model. This machine has to perform the milling, drilling and tapping of this workpiece in an automatic way. It has four stations and three workstations (milling, drilling and tapping).

In this project the workpiece clamping and transfer systems were conceived. The machining units selection and their implementation was studied in detail, and afterwards the machine structure and cover was designed. The project was finalized with the conception of the hydraulic and pneumatic systems.

The main goal of the work reported here is to put in practice the knowlege obtained during the Mechanical Engineering MSc degree of FEUP, and to articulate that knowledge into a practical, functional and as simple as possible solution to perform the tasks required.

Agradecimentos

Quero agradecer, ao meu orientador Eng. Adérito Varejão

Aquelas pessoas muito especiais para mim, que sempre me apoiaram especialmente nas alturas mais difíceis às quais estou eternamente grato.

Aos meus pais Belarmino Gomes Vieira e Maria Cecília da Silva Ribeiro

E um agradecimento muito especial ao Professor Catedrático Paulo Tavares de Castro.

Índice

| | |
|--|-------------------|
| Resumo | <i>i</i> |
| Abstract | <i>iii</i> |
| Agradecimentos | <i>v</i> |
| Índice | <i>vii</i> |
| 1 Introdução geral e objectivos | 1 |
| 1.1 A SERI | 1 |
| 1.2 Objectivos do trabalho..... | 2 |
| 1.3 Organização e temas abordados no relatório | 2 |
| 2 Máquinas especiais e soluções já existentes | 3 |
| 2.1 Introdução | 3 |
| 2.2 Maquinas especiais vs centros de maquinação de controlo numérico (CNC) | 3 |
| 2.3 Referência a algumas máquinas especiais | 4 |
| 3 Breve descrição da peça 8KO 199 308 BE | 7 |
| 3.1 O modelo de automóvel | 8 |
| 3.2 Facejamento | 9 |
| 3.3 Furo roscado | 10 |
| 4 Fases do Projecto | 11 |
| 4.1 Dispositivo de aperto | 12 |
| 4.2 Escolha do prato divisor e projecto do falso prato..... | 24 |
| 4.3 Escolha das unidades de maquinação e projecto das colunas de fixação | 37 |
| 4.3.1 Fresagem | 37 |
| 4.3.2 Furação..... | 45 |
| 4.3.3 Unidade de roscagem..... | 48 |
| 4.4 Projecto da estrutura | 50 |
| 4.5 A blindagem | 53 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.6 | Sistema hidráulico e pneumático | 56 |
| 4.6.1 | Sistema hidráulico | 56 |
| 4.6.2 | Sistema pneumático | 56 |
| 5 | <i>Conclusões e sugestões para futuros trabalhos</i> | 57 |
| | <i>Bibliografia</i> | 59 |
| | <i>ANEXO A.</i> | 61 |
| | <i>ANEXO B.</i> | 67 |
| | <i>ANEXO C.....</i> | 75 |

1 Introdução geral e objectivos

Hoje em dia, face à evolução tecnológica presenciada, existe a constante necessidade de produção de peças em massa por parte da indústria. Esta necessidade requer que existam fluxos contínuos de peças a serem concluídas o mais rápido possível, que só se tornam possíveis graças a máquinas dedicadas.

As máquinas dedicadas, denominadas máquinas ferramenta especiais, são máquinas concebidas para efectuar as operações dedicadas para o fabrico de componentes específicos e semelhantes (para massas de produção elevadas). As vantagens acopladas à existência deste tipo de máquinas, faz-nos poder usufruir de automóveis, electrodomésticos, computadores e outras comodidades do mundo moderno, a um preço acessível, que de outro modo seriam inacessíveis.

Esta constante necessidade de máquinas dedicadas por parte da indústria motivou a realização deste trabalho, no âmbito do projecto de fim de curso do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Projecto e Construção Mecânica, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no qual nos foi proposto pela empresa *SERI*, que se dedica à produção de máquinas e equipamentos especiais, a concepção de uma máquina capaz de realizar acabamentos numa peça de apoio de motor do automóvel *Audi A4*.

1.1 A *SERI*

Tive a oportunidade de interagir no decurso do desenvolvimento desta tese, com a empresa *SERI*. Esta empresa situada na zona industrial de Mindelo, Vila do Conde, dedica-se à produção de máquinas e equipamentos especiais. Foi fundada em 1988 por um grupo de pessoas com larga experiência na área de projecto mecânico. Esta empresa trabalha no desenvolvimento e realização de soluções de “chave na mão”, onde cada equipamento projectado terá de corresponder às exigências do cliente e à função para o qual foi encomendado. Este tipo de actividade apoia-se na capacidade criativa dos projectistas da empresa, uma vez que cada equipamento é inédito e não existe uma abordagem única na sua concepção e projecto. Como a área de actividade se centra maioritariamente em máquinas para uso industrial estas terão de possuir altos padrões de qualidade. Os seus principais

Introdução geral e objectivos

clientes encontram-se nos sectores automóvel, de electrodomésticos, de ferragens torneiras e outros acessórios, etc. .

1.2 Objectivos do trabalho

A necessidade de criação de uma máquina dedicada para realizar um acabamento automatizado do apoio de motor para o *Audi A4* deverá responder aos seguintes requisitos:

- Projecto de sistema de fixação da peça;
- Escolha das unidades de maquinagem;
- Projecto da estrutura;
- Projecto do sistema hidráulico e pneumático;
- Análise do sistema do ponto de vista de segurança.

1.3 Organização e temas abordados no relatório

Em seguida à parte introdutória aqui apresentada, existem neste documento mais cinco secções, às quais se seguem os anexos. As secções são:

Maquinas especiais e soluções já existentes, onde se fará uma introdução sobre máquinas especiais e a sua utilização na indústria, referindo exemplos práticos;

Breve descrição da peça 8KO 199 308 BE, onde se fará uma descrição da peça a ser trabalhada bem como das suas operações de maquinagem;

Fases do Projecto, em que será descrito todo o processo de concepção, usando o *software Inventor* para efectuar a modelação 3D e o *Automation Studio* para a representação dos sistemas hidráulico e pneumático.

Conclusões e sugestões para futuros trabalhos, onde irá ser feita uma apreciação global sobre o trabalho realizado e referência aos aspectos que poderiam ser mais aprofundados em futuros trabalhos.

Por fim, uma última secção dedicada à *bibliografia* onde é feita a referência a obras e catálogos utilizados na elaboração deste relatório.

2 Máquinas especiais e soluções já existentes

2.1 Introdução

Neste capítulo dá-se a conhecer o resultado da pesquisa de informação relativa ao âmbito do trabalho. O primeiro passo na realização de um projecto é a pesquisa de informação relevante que permita a sua sustentação e contextualização, nomeadamente identificando sistemas semelhantes ou afins ao que se pretende desenvolver, salientando os seus eventuais pontos fortes e fracos.

A necessidade de conceber uma máquina especial surge quando uma determinada empresa necessita de produzir uma peça em grandes quantidades. Nessa situação será necessário construir uma máquina desenhada especificamente para as tarefas requeridas na produção em série. Segundo Steve F. Krar *et al* * uma máquina especial para maquinação é uma máquina concebida para efectuar todas as operações necessárias à produção de um único componente, o que se pode adequar ao objectivo da máquina em causa.

Transfer é um termo anglo-saxónico que significa transferência, usado no jargão industrial como qualificação para um máquina que efectue operações de acabamento com transferência de posto. Segundo Dorf[†] transferência (*transfer*) é a operação de movimentação da peça entre postos de trabalho. Deste modo modo a máquina em questão também pode ser qualificada como uma máquina *transfer*.

2.2 Máquinas especiais vs centros de maquinação de controlo numérico (CNC)

Em muitas situações são utilizados centros de maquinação de controlo numérico em vez de máquinas especiais.

Para pequenas séries de produção torna-se mais vantajoso usar um centro de maquinação CNC porque, uma vez acabada a produção de uma determinada peça este pode ser reprogramado para produzir outra. Assim, o investimento na aquisição de uma máquina CNC pode ser amortizado a longo prazo. No caso de uma máquina especial deverá ser feito

* (Steve F. Krar, 2005)

† (Dorf, 1994)

um estudo prévio para verificar se o número de peças processadas vai compensar o custo de uma máquina que após o fim da produção destas será, em princípio, inutilizada. Regista-se porém que o carácter modular das máquinas especiais pode permitir o reaproveitamento de componentes e sua integração em novas máquinas.

Em geral as máquinas especiais são mais rápidas e baratas que centros de maquinagem CNC. No entanto, estas últimas têm maior flexibilidade de operações.

2.3 Referência a algumas máquinas especiais

Em máquinas *transfer* rotativas (*rotary transfer machines*) o componente a maquinar está fixado numa paleta colocada numa mesa rotativa que indexa de uma estação de trabalho para a seguinte. Por cada indexação há uma peça que completa o seu ciclo de produção. O número de estações depende da complexidade da peça a executar. A Fig 2.1 mostra, a título de exemplo, uma máquina *transfer* rotativa da marca Kaufman para processamento de acessórios de tubagens.



Fig 2.1 – Exemplo de uma máquina *transfer* Kaufman.*

As tendências actuais de máquinas *transfer* incluem a carga e descarga robotizada, bem como maior flexibilidade e soluções do tipo *CNC rotary transfer machines*†.

* (Kaufman)

† <http://www.productionmachining.com/zones/metalworking/rotary-transfer-machines.aspx>, consultado em Julho de 2009

Projecto de uma máquina especial para maquinação

Como referido acima, o presente projecto decorreu com o apoio da empresa *SERI*, motivo pelo qual o exemplo a seguir referido foi obtido naquela empresa. A *SERI* é uma empresa com grande historial de produção de máquinas especiais, podendo-se destacar a máquina representada na Fig 2.2, que é uma linha completa de maquinação de automáticos de gás para esquentadores, concebida e produzida na *SERI*. Trata-se neste caso de uma máquina com transferência linear (*linear transfer machine*).



Fig 2.2 – Linha de maquinação de automáticos de gás para esquentadores

Esta máquina está presentemente implementada na fábrica de esquentadores da *Vulcano (Bosch Termotecnologia SA)*, sendo capaz de grandes cadências de produção. É importante salientar a existência de sistemas de filtragem das águas de maquinagem e de purificação de ar. A água de maquinagem é filtrada uma primeira vez por uma grelha metálica que recolhe as aparas, passando de seguida por um filtro de papel que retêm as limalhas e poeiras. O ar que sai da cabine da máquina passa por uma série de filtros que retêm poeiras, sendo depois centrifugado com o intuito de recolher partículas de óleo suspensas no ar.

Esta máquina é um bom exemplo de como o uso de boas práticas de engenharia pode assegurar um bom desempenho ecológico, sem prejudicar a capacidade de produção.

3 Breve descrição da peça 8KO 199 308 BE

A peça a ser trabalhada é um apoio de um motor de automóvel (Fig 4.2). Neste caso trata-se de o motor *diesel TDI 2.0* do modelo *A4* da *Audi*. Esta peça faz a ligação do motor ao chassis através de um amortecedor de vibrações em borracha, mais conhecido por sino-bloco. É uma peça de fundição em liga leve (AlSi9Cu3) de formato mais ou menos piramidal, com um peso de aproximadamente 951g. Esta possui quatro extensões semelhantes a patas, cada uma delas possui na sua extremidade um olhal (ver Fig 3.1). O anexo A apresenta o desenho técnico da peça.



Fig 3.1 - Peça 8KO 199 308 BE.

Como já referido a peça possui um aspecto semelhante a uma pirâmide, em que as patas formam a base. No vértice existe uma face de formato mais ou menos triangular que vai ser fresada. Perpendicular a esta, encontra-se uma cavidade que vem assinalada na Fig 3.2 com a designação de furo que vai ser alargada e aprofundada para a elaboração do furo roscado passante.

Sendo a peça um apoio do motor terá que suportar as vibrações bem como esforços causados por este (binário de arranque, forças de travagem, etc.). Portanto, esta caracteriza-se por ser uma peça leve e com boa resistência mecânica.

A peça é aparafusada ao motor através dos furos dos olhais. O acoplamento ao chassis é feito pelo furo roscado passante, ficando a face a contactar uma borracha absorvedora de vibrações, que se encontra entre a peça e o chassis.

As operações de acabamento a realizar são a fresagem da face e a elaboração de um furo roscado M12x1.5 com rebaixo que é perpendicular a esta face.

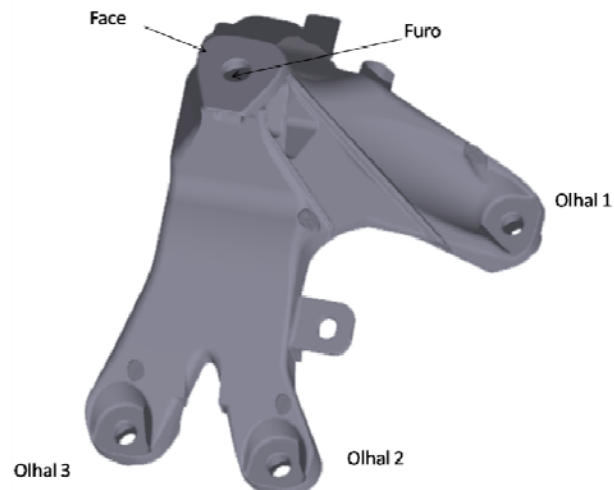


Fig 3.2 – Peça a ser processada.

3.1 O modelo de automóvel

O *Audi A4* é um automóvel executivo compacto produzido pelo grupo *Audi AG* desde 1994. Este modelo veio substituir o *Audi 80* com o qual partilha a configuração, configuração essa que consiste em motores montados longitudinalmente, com transmissão *transaxle* montada atrás do motor.



Fig 3.3 – Audi A4.

O *Audi A4* está disponível com transmissões ora dianteira, ora integral permanente através do sistema *quattro*, da *Audi*, que inclui diferencial *Torsen* central. Contudo o grande volume de vendas deste carro corresponde a modelos de tracção dianteira apenas. Em 2007 foi lançada a 4ª geração do *A4*, e como aconteceu a cada geração, a *Audi* aumentou mais uma vez o volume de vendas deste modelo, superando pela primeira vez a *BMW* e a *Mercedes* no segmento dos compactos executivos no país de origem, Alemanha. Este sucesso deve-se a um aumento claro de qualidade construção, e na oferta de bons motores *diesel*.

O equipamento em estudo pretende maquinar uma peça do *Audi A4 2.0 TDI*, de resto a versão com maior penetração no mercado nacional. A peça em questão terá uma cadência de

produção de aproximadamente 400 000 peças/ano. O motor 2.0 TDI disponibiliza potências desde os 120 aos 170 cavalos e binários que variam entre os 290 e os 350 Nm.

Hoje em dia o Audi A4 é vendido na versão *sedan* (4 portas), *sw*, *allroad* e também serve de base ao *coupe A5*.

3.2 Facejamento

O facejamento é um acabamento superficial que neste caso será efectuado através de fresagem frontal. Este terá que ter uma tolerância de planeza de 0.1 mm e uma perpendicularidade de 0.05 mm. Isto quer dizer que a face da peça real deve estar contida entre dois planos paralelos que distam 0.1mm e que o eixo toleranciado deve estar dentro de uma zona cilíndrica de 0.05mm perpendicular à face de referência, (Fig 3.4).

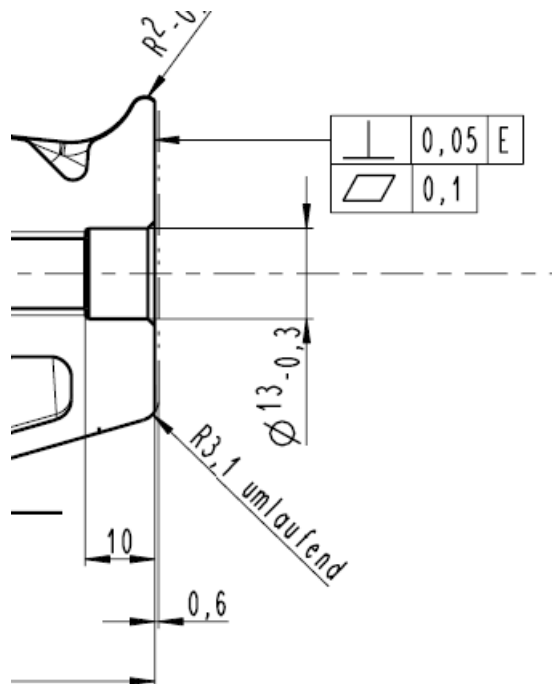


Fig 3.4 – Perpendicularidade e planeza da face.

3.3 Furo roscado

O furo a efectuar é um furo passante roscado que será realizado em duas fases: a primeira que corresponde ao alargamento do furo existente na peça de fundição e a segunda corresponde à elaboração de uma rosca métrica fina de diâmetro nominal M12 com um passo fino de 1.5 mm. Como se pode ver na Fig 3.5 a caixa do furo terá um diâmetro máximo de 13.3mm com uma profundidade 10mm, e o comprimento roscado é de 40 mm.

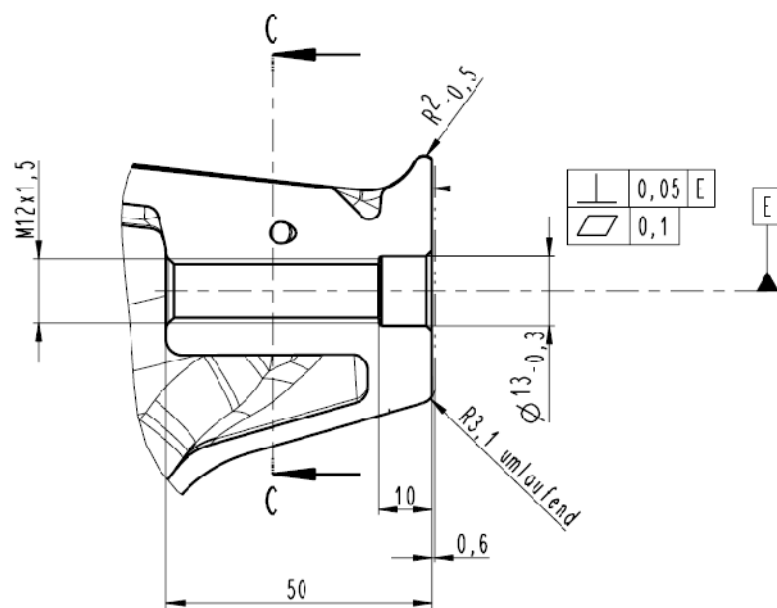


Fig 3.5 – Furo passante roscado M12x1.5.

4 Fases do Projecto

Neste capítulo é feita uma descrição da concepção da máquina incluindo as considerações técnicas para o projecto de cada um dos componentes. Para a elaboração da modelação em 3D foi utilizado o *software Autodesk Inventor* e na representação do sistema hidráulico e pneumático foi utilizado o *software Automation Studio*.

O projecto tem as seguintes fases:

Concepção e modelação do dispositivo de aperto;

Escolha do prato divisor e projecto do falso prato;

Escolha das unidades de maquinação e projecto das colunas de fixação;

Concepção e modelação da estrutura;

Concepção e modelação da blindagem da máquina;

Projecto do sistema hidráulico e pneumático.

4.1 Dispositivo de aperto



Fig 4.1 - Dispositivo de aperto concebido neste trabalho, e peça 8KO 199 308 BE

O dispositivo de aperto tem como requisito fundamental fixar a peça numa posição que garanta a sua correcta maquinagem (Fig 4.1). A imobilização desta é atingida quando todos os graus de liberdade da peça são estrangulados. Se utilizarmos um sistema de eixos como o apresentado na Fig 4.2, sabemos que é necessário impedir os deslocamentos nos eixos x, y e z e as rotações em torno de cada um dos mesmos, o que dá um total de seis graus de liberdade que têm de ser restringidos. A restrição do deslocamento na direcção dos zz e das rotações em torno dos eixos x e y são obtidas através do aperto dos grampos hidráulicos contra os apoios. Deste modo ficamos com apenas os deslocamentos ao longo de x, y e a rotação em torno do eixo dos zz . Para este efeito foi projectado um dispositivo que garante a centragem e posicionamento no plano OXY , ao qual é atribuída a designação de centrador. Para efectuar o posicionamento angular é usado um dispositivo ao qual é atribuída a designação de posicionador angular.

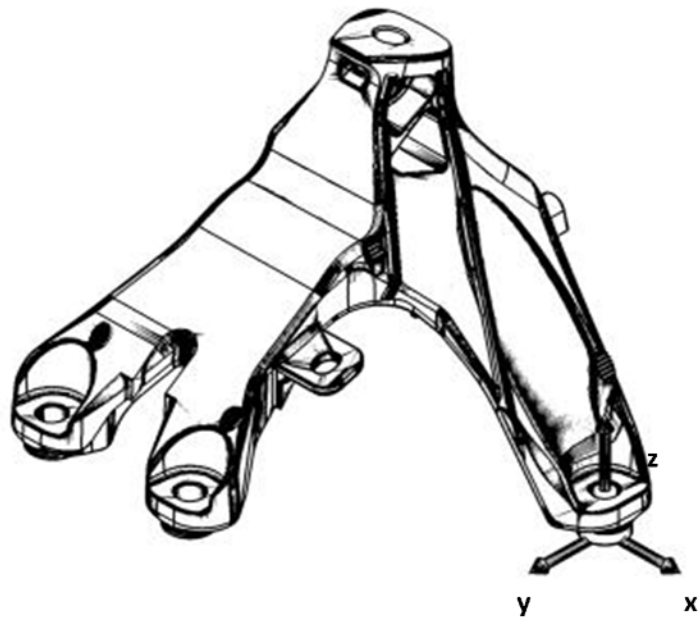


Fig 4.2 - Peça 8KO 199 308 BE e sistema de eixos escolhido

Para ajudar a compreender como é feito o posicionamento e fixação da peça vão ser numerados os olhais de acordo com a Fig 4.3.

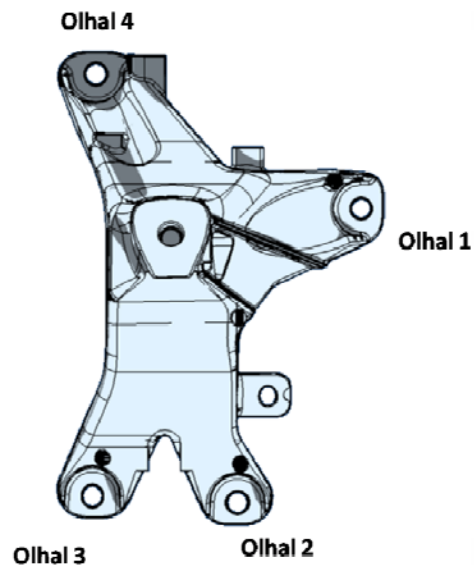


Fig 4.3 – Olhais da peça

O dispositivo centrador é constituído por duas peças fundamentais, um pino interior em que uma das extremidades é cónica, e um corpo exterior que vai servir de guiamento ao primeiro. O olhal 1 vai ser utilizado como furo de referência e a sua correcta centragem com o pino do centrador vai ser importante para garantir que o furo e a peça fiquem bem posicionados. Deste modo quando a peça é colocada no pino, este e o furo do olhal devem ficar concêntricos. Uma vez que sendo uma peça de fundição existe uma variação no diâmetro do olhal, pelo que o uso de um pino cónico assegura a que seja encontrado o diâmetro certo. A conicidade do pino faz com que o contacto resulte numa circunferência, ficando garantido desta forma a centragem (Fig 4.4).

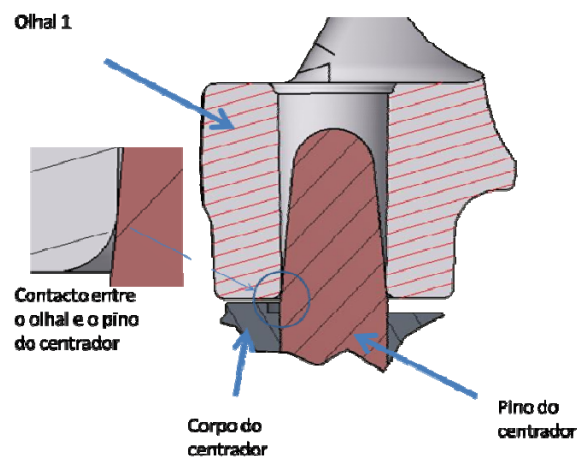


Fig 4.4 – Pormenor do contacto do pino centrador

O funcionamento do dispositivo centrador encontra-se representado na Fig 4.5. Quando é feito o aperto pelo grampo hidráulico o pino do centrador vai deslizar contra a força da mola (C) até a peça contactar com o ressalto (B). Desta forma fica também restringido o deslocamento em z. É importante salientar que a forma convexa do parafuso do grampo (A) e as reduzidas dimensões do ressalto (B) constituem um meio de reduzir a área de contacto, o que vai minimizar problemas que poderiam ser causados por eventuais defeitos de forma na peça a maquinar.

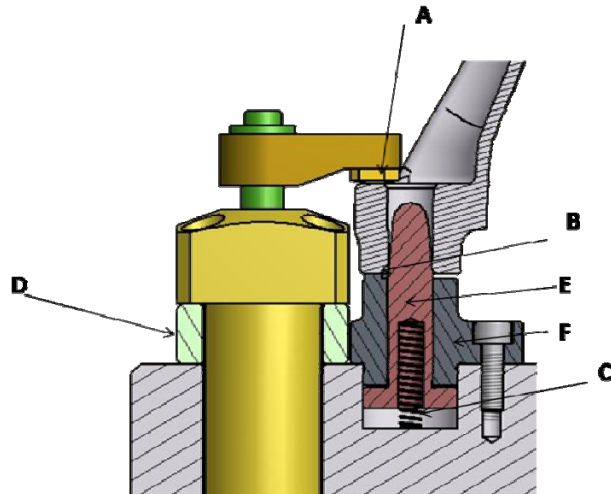


Fig 4.5 – Dispositivo centrador; A – parafuso do grampo, B.- ressalto do corpo centrador, C – mola, D – bloco de apoio do cilindro, E – pino centrador, F – corpo do dispositivo centrador.

Estando asseguradas a restrições aos movimentos em cinco dos graus de liberdade falta agora bloquear a rotação em torno do eixo dos zz . Para este efeito vai ser utilizado o olhal 3, que tem a particularidade ser oblongo, Fig 4.6

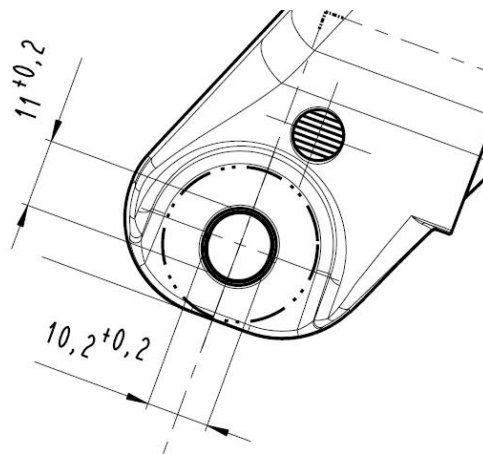


Fig 4.6 - Olhal 3.

Tendo em conta esta particularidade sabemos que ao introduzir um pino semelhante ao usado no centrador, o contacto entre este e o olhal 3 vai ser pontual, o que se vai revelar importante para um correcto posicionamento da peça. Uma vez que tentássemos fazer este posicionamento através do contacto entre superfícies planas, seria necessário que estas tivessem um acabamento e uma precisão dimensional muito boas, e mesmo assim podíamos incorrer no risco de ocorrência de erros de posicionamento. Ao dispositivo dá-se o nome de posicionador angular uma vez que após a centragem da peça é este que vai assegurar o posicionamento final. O funcionamento é idêntico ao do dispositivo centrador e vem descrito

na Fig 4.7. O olhal (M) vai encostar ao pino (I), empurrado pelo parafuso do grampo (H). O pino por sua vez desliza dentro do corpo (J) opondo a força da mola (L). O olhal (M) vai parar o seu movimento quando atingir o corpo (J) sendo o contacto efectuado por um ressalto semelhante ao que existe no corpo do dispositivo centrador. Este ressalto não é visível na Fig 4.7.

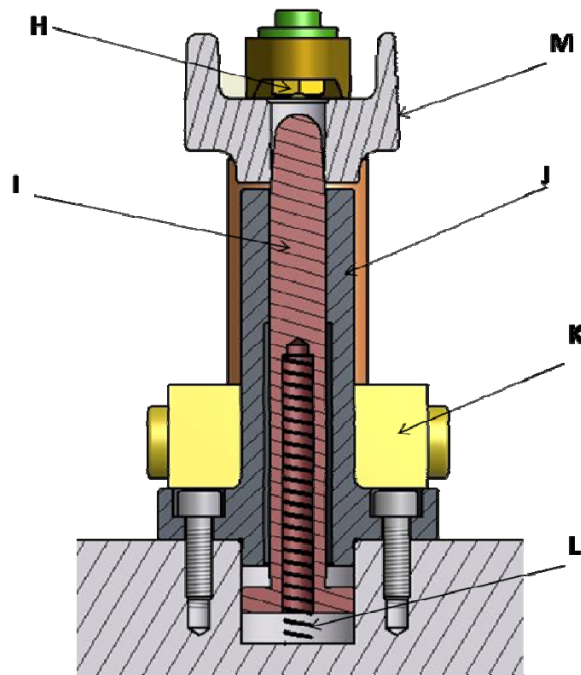


Fig 4.7 – Dispositivo posicionador angular; H – parafuso do grampo, I – pino do posicionador, J – corpo do posicionador, K – grampo hidráulico, L – mola .

Estes dois dispositivos, centrador e posicionador angular, posicionam automaticamente a peça quando o operador a coloca no dispositivo de aperto.

Para além dos dois dispositivos anteriormente referidos (centrador e posicionador angular), existem mais duas peças de apoio que vão contactar com os olhais 2 e 4, respectivamente. Uma vez que um plano necessita de três pontos para estar definido, apenas seriam necessários três pontos de apoio, no entanto, dada a forma e dimensões da peça optou-se por usar quatro pontos de apoio. A estas duas peças são dadas as designações de apoio 1 e apoio 2, cuja disposição podemos ver na Fig 4.8.

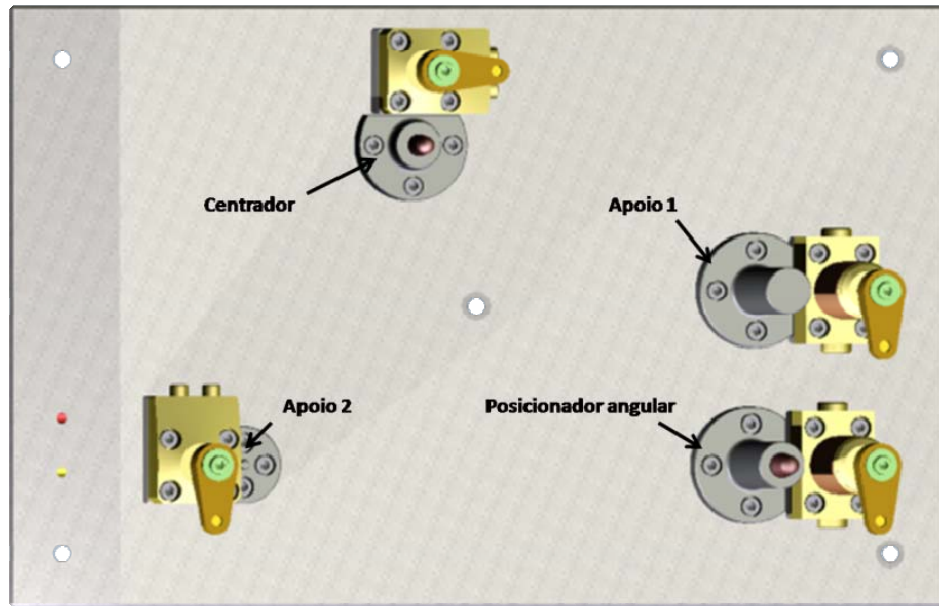


Fig 4.8 – Disposição dos apoios

A área de contacto entre a peça e os apoios é a menor possível como se pode constatar nas Fig 4.9 e Fig 4.10. As áreas de contacto ao serem reduzidas têm a vantagem de facilitarem o toleranciamento sendo obtida uma melhor precisão dimensional como o que já sucedia no centrador e no posicionador angular.

Em suma, podemos dizer que a combinação das propriedades do centrador, do posicionador angular e dos dois apoios vai proporcionar uma colocação precisa e ágil da peça no dispositivo de aperto. Estes factores são muito importantes numa linha de produção em série onde a rapidez, a precisão, e a robustez são importantes.

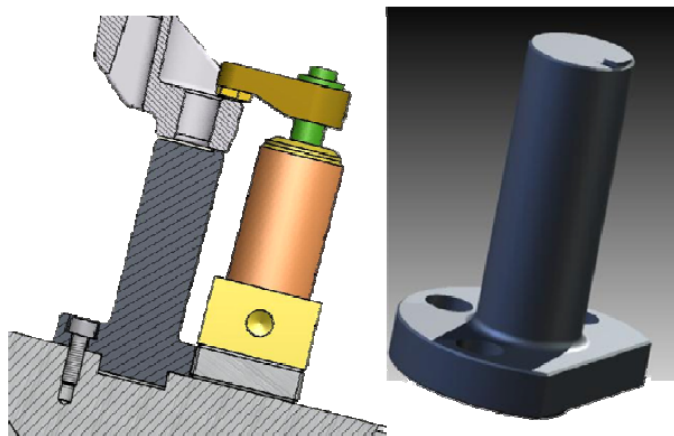


Fig 4.9 – Apoio 1

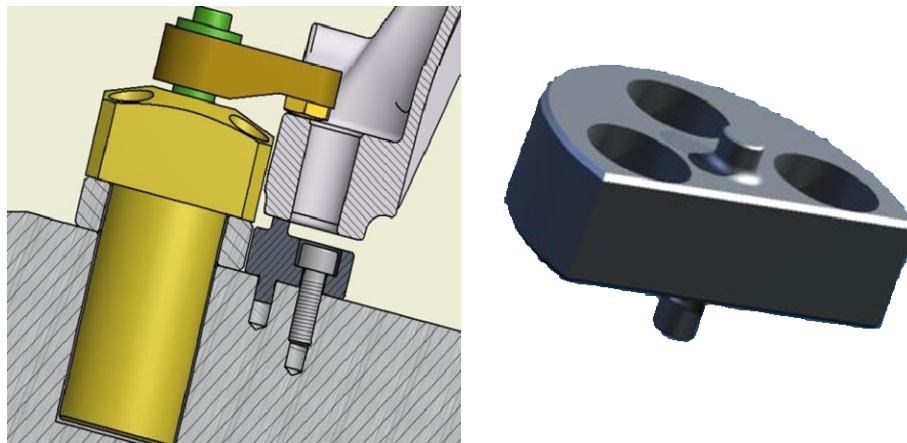


Fig 4.10 – Apoio 2

Os apoios e os corpos do centrador e posicionador são feitos em aço de cementação 16MnCr5, com um tratamento de endurecimento com o intuito de obter uma dureza superficial de 58 a 60 HRc e assim resistirem ao desgaste causado pelo uso na produção em série. Os pinos centrador e posicionador são feitos em aço de cementação 14CrNi4, cementados e temperados para 60 HRc. O ajustamento deslizante entre o pino e furo do corpo é um H7/g6.

A base do dispositivo de aperto foi projectada com o intuito de garantir a perpendicularidade entre a face fresada da peça e as unidades de maquinagem. Esta é constituída por um bloco em liga de alumínio em forma de cunha, com uma inclinação de $14,2^\circ$. No entanto, para que a superfície da peça esteja paralela à face inferior da base será necessário rodá-la $0,4$ graus no sentido negativo do eixo dos zz . Considerando um referencial x,y alinhado com as faces da base, os furos A e B onde vão ser colocados o centrador e o posicionador angular, respectivamente, vão estar alinhados com o novo referencial x',y' que faz um ângulo $0,4^\circ$ com o referencial inicial (Fig 4.11). Desta forma fica garantido o paralelismo da superfície a fresar bem como a perpendicularidade do furo que vai ser efectuado.

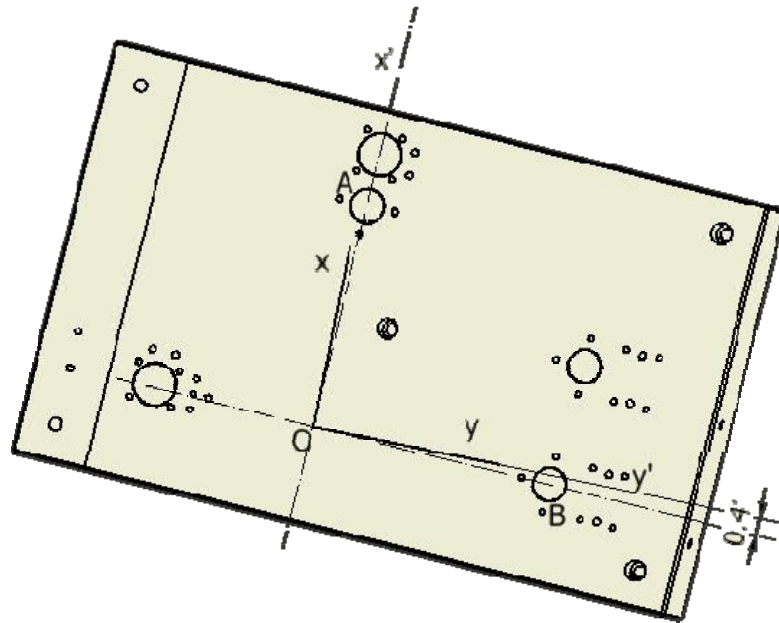


Fig 4.11 –referencial x,y e referencial x',y' .

A distribuição do óleo que vai actuar os grampos de aperto é feita através de furos efectuados no interior da base do sistema de aperto, o que é mais vantajoso do que a instalação de uma tubagem para alimentar cada um dos cilindros. Deste modo o circuito do óleo fica protegido das aparas de maquinação, bem como da água e óleo de maquinação, é mais robusto em relação a fugas. Uma vez que os cilindros dos grampos hidráulicos são de duplo efeito serão necessárias duas condutas distintas, uma para o aperto e outra para o desaperto.

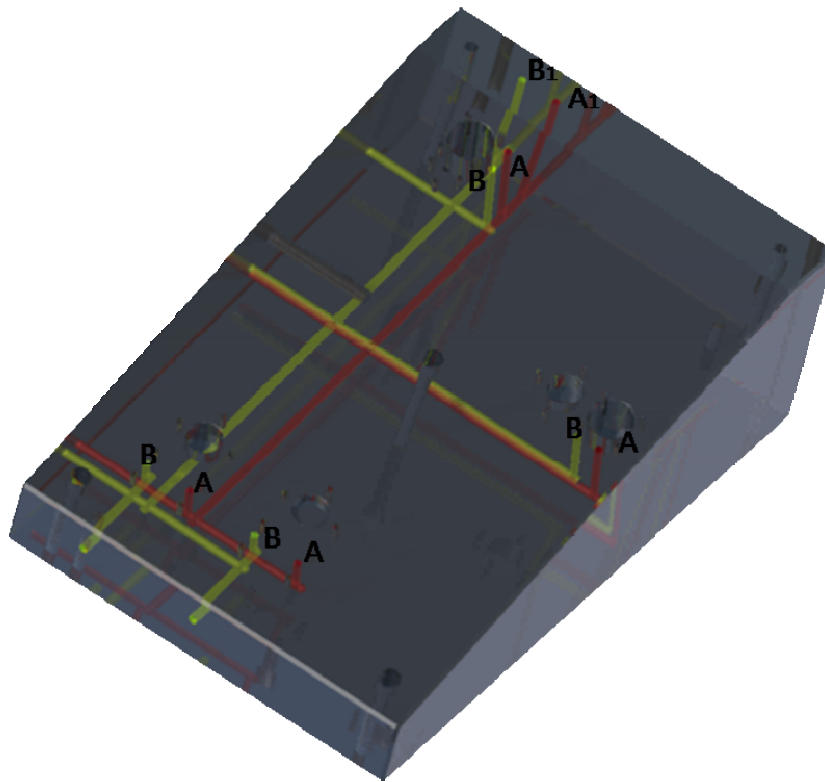


Fig 4.12 – Furação para a passagem do óleo

Analisando a Fig 4.12 podemos ver a vermelho e amarelo os furos que fazem a condução do óleo. Os furos a vermelho são os responsáveis pelo aperto e os furos a amarelo pelo desaperto. Quando se dá o aperto, o óleo entra sob pressão pela entrada (A1) e alimenta os cilindros através das saídas (A). Quando se dá o desaperto, a entrada (A1) deixa de ser alimentada pela bomba passando a ser (B1) alimentada transmitindo a carga aos cilindros pelas saídas (B). A ligação das saídas (A) e (B) aos cilindros de aperto está representada na Fig 4.13. De acordo com a imagem pode-se ver que o bloco de apoio do grampo hidráulico possui dois orifícios para a passagem do óleo da base para o cilindro. A vedação é assegurada por *o-rings* de 7x1.5. Os furos são obturados recorrendo a tacos expansíveis Koenig.

A liga utilizada na base é uma liga de alumínio de alta resistência, liga 7500 (Al Zn Mg Cu₂) com um limite elástico R_p 0,2 de 479 a 532 MPa. A escolha do alumínio para a base prende-se ao facto de ser um material mais leve em relação ao aço, o que tendo em conta as dimensões desta e o facto de esta peça ser uma peça móvel, faz com que o peso seja um factor importante. Após a maquinagem, o bloco deverá ser sujeito a um tratamento superficial de anodização dura, para atingir uma dureza superficial de 350 a 400 HV. Este tipo de tratamento

é importante para conferir resistência ao desgaste e aos ataques químicos provocados por óleos e água.

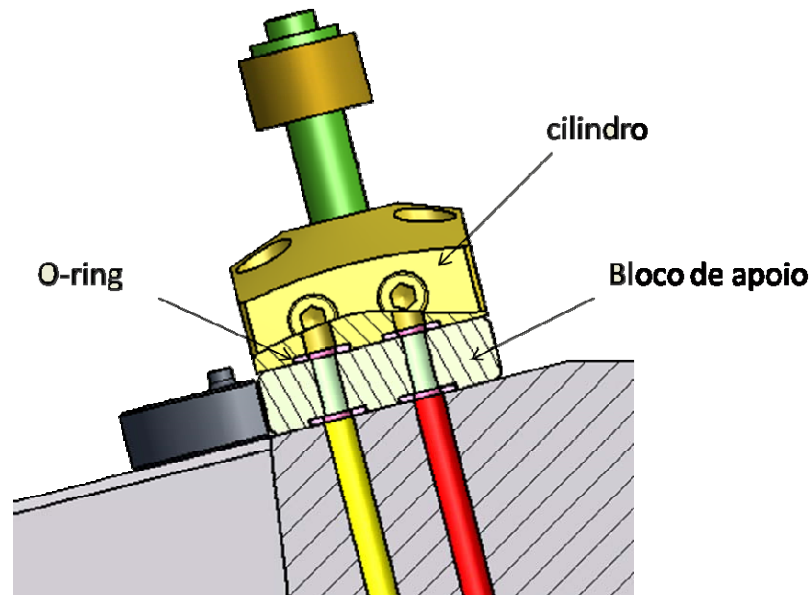


Fig 4.13 – Alimentação de um grampo de aperto.

Os grampos utilizados são grampos com cilindros de duplo efeito da marca *Roemheld*. Neste caso são usados dois tipos diferentes, um par com flange na base (B 1850-112) e outro par com flange no topo (B 1850-114), Fig 4.14. Apesar das diferenças construtivas, todos eles possuem as mesmas características de funcionamento e mesmas propriedades de aperto. O aperto realiza-se em duas fases: uma fase translação e rotação a 90° com um curso de 8mm, e uma outra fase de aperto com um curso linear de 8mm. A relação entre a pressão de trabalho e a força efectiva de aperto (F_{sp}) é linear como se pode constatar pelo gráfico da Fig 4.15. Assim para uma pressão de trabalho de 100 bar a força efectiva de aperto é de 0,6 kN. Na extremidade da haste do cilindro é fixado um braço cujo comprimento de trabalho é de 26mm o que acordo com o diagrama da Fig 4.15 se encontra dentro do comprimento de segurança.

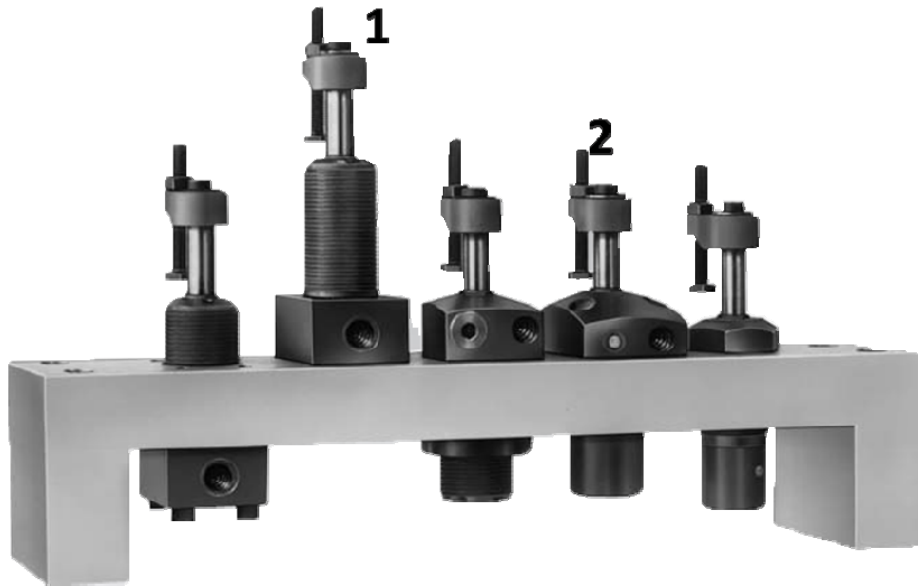


Fig 4.14 - Grampos de aperto: 1) grampo B 1850-112, 2) grampo B 1850-114*

O uso deste tipo de grampos hidráulicos justifica-se pelo facto de estes constituírem uma forma resistente e robusta de fixação. Estes sistemas podem operar com pressões que vão até aos 350 bar e forças que podem atingir os 2,63 kN, o que vai garantir um bom aperto, o que é ideal para resistir às forças actuantes na peça durante a maquinagem. O facto de os grampos possuírem um curso de rotação faz com que, quando estes estão recolhidos os braços do grampo permitem uma fácil colocação e remoção da peça.

* Imagem retirada de Roemheld, GmbH, 2007

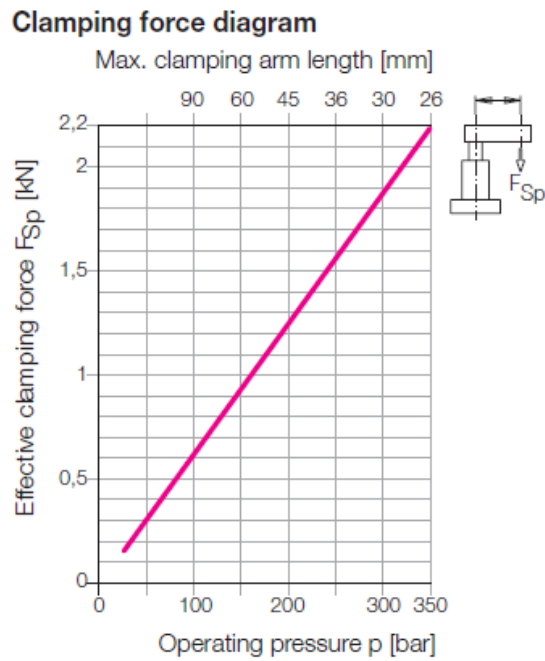


Fig 4.15 - Pressão de trabalho vs Força efectiva de aperto* .

O dispositivo de aperto caracteriza-se por ser um elemento compacto, em que as peças de apoio e posicionamento são de fácil substituição e intermutabilidade.

* Imagem retirada Roemheld, GmbH, 2007, ver secção Bibliografia.

4.2 Escolha do prato divisor e projecto do falso prato

O prato divisor é um componente que faz a indexação das estações, responsável pela transição entre postos da peça. Na Fig 4.16 podemos ver as estações e o sentido da rotação do prato divisor para fazer a permuta de estação da peça. É importante ter em conta a precisão deste movimento para garantir precisão nas operações de maquinagem, principalmente na furação e na roscagem.

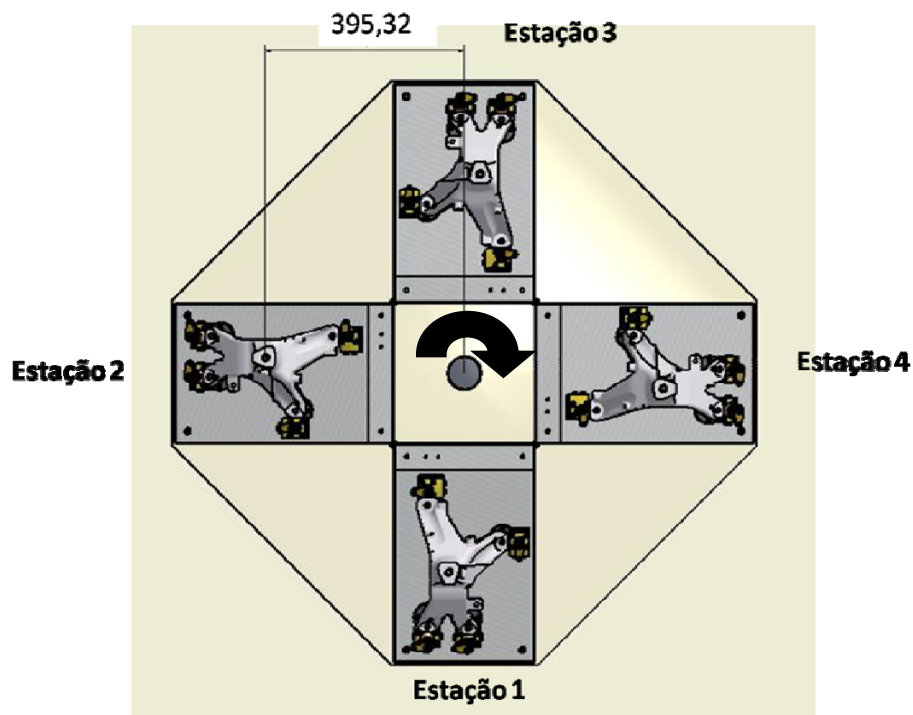


Fig 4.16 – Permutação de estação da peça.

Para termos uma ideia da precisão angular do prato divisor, podemos estipular que a posição do furo a efectuar não deve ter uma variação superior à centésima de milímetro. Sabemos que o comprimento de arco Δ em função de um ângulo α (arco-segundo) para um determinado diâmetro D é dado pela seguinte relação (equação (4.1)), (ver Fig 4.17).

$$\Delta = \frac{\alpha \pi D}{360 \times 3600} \cong \frac{\alpha D}{413000} \quad (4.1)$$

Resolvendo em ordem a α , obtemos a seguinte expressão (equação (4.2))

$$\alpha = \frac{413000 \times \Delta}{D} \quad (4.2)$$

Por razões construtivas a distância do furo da peça ao eixo de indexação é aproximadamente 395.32 mm como se pode constatar pela Fig 4.16. Sendo $D=790.64$ mm e impondo que Δ não deve exceder 0.01 mm, α não deverá exceder os 5.2”.

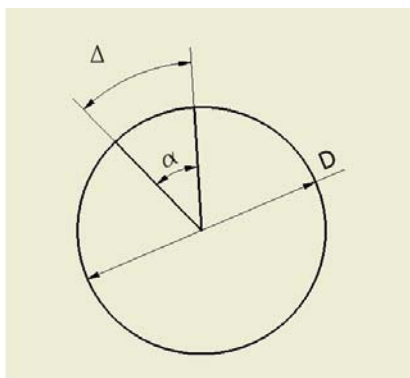


Fig 4.17 – Relação entre o comprimento de arco Δ e o ângulo α .

Portanto, na escolha do prato divisor teremos de ter em conta a precisão e a forma como esta é atingida. Dentro da gama dos produtos da empresa *Fibro*, um dos fabricantes pratos divisores utilizados em máquinas de transferência, existem três tipos de indexação e bloqueio: indexação e bloqueio pneumático (mais aconselhados para baixas cargas transportadas e grande rapidez e frequência de indexação), indexação e bloqueio hidráulico (aconselhado para elevadas cargas transportadas, grande rapidez de indexação) e indexação por sem-fim e roda de coroa (actuado por motor eléctrico ou hidráulico) que possuem a mesma capacidade de carga que os pratos hidráulicos.

Tendo em conta as características da máquina a opção mais adequada é o sistema hidráulico. O facto de a indexação ser feita com recurso a engrenagens de face ou dentado *Hirth* permite-nos obter tolerâncias de $\pm 1.5\mu\text{m}$ com uma repetibilidade de 20%. As características essenciais do dentado *Hirth* são a sua grande exactidão e capacidade de suporte de grandes cargas e binários.

O funcionamento deste sistema está representado na Fig 4.18 e na Fig 4.19.

Fases do projecto

O ciclo de indexação ocorre em quatro fases. Numa primeira fase há o desacoplamento das engrenagens de face (A) em simultâneo com o acoplamento da engrenagem (F) no pinhão (C). De seguida dá-se o avanço da cilindro/cremalheira (B) que faz rodar o prato (D). Após esta etapa dá-se o acoplamento das engrenagens de face para uma centragem e posicionamento rigorosos, em simultâneo com o desacoplamento da engrenagem (F) com o pinhão (C). Por fim dá-se o retorno do cilindro/cremalheira para a posição inicial

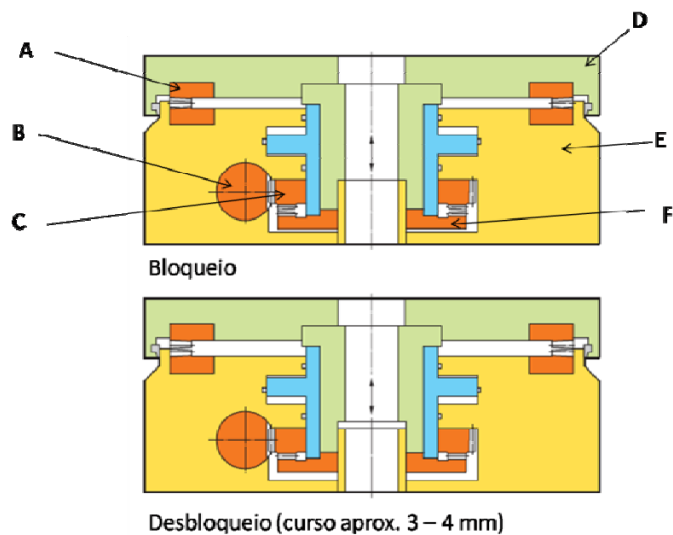


Fig 4.18 – Representação do funcionamento de um prato divisor; A - engrenagem de face, B - cilindro/cremalheira, C – pinhão, D – prato, E – corpo do prato, F – engrenagem de face *

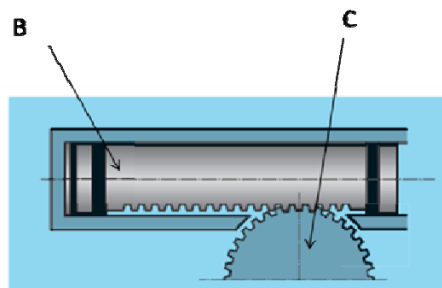


Fig 4.19 - Pormenor do cilindro/cremalheira; B – cilindro/cremalheira, C – pinhão *

Na Fig 4.20 podemos ver a aparência de um prato divisor da *Fibro* com o pormenor da engrenagem de face ou dentado *Hirth*.

* Imagens retiradas de FIBRO GmbH, 2001, ver secção Bibliografia.



Fig 4.20 - Prato divisor Fibro hidráulico com engrenagem de face *

Cada ciclo de indexação corresponde uma transferência de estação. Como neste caso existem quatro estações, o prato apenas necessita rodar 90° por ciclo.

Os pratos divisor da *Fibro* possuem quatro classes de precisão onde estão incluídas as tolerâncias de indexação em arco-segundo, como podemos ver no seguinte diagrama.

De acordo com o diagrama da Fig 4.21 podemos ver que para um diâmetro de 800 mm, para um prato de segunda classe o comprimento de arco ronda os 6 μm . Este valor é inferior à centésima de milímetro o que bastante aceitável para o trabalho em questão.

* Imagem retirada de FIBRO GmbH, 2001, ver secção Bibliografia

Neste bloco, os dois primeiros Algarismos indicam o tipo, que, para um prato comum com mesa de levantamento vertical corresponde ao 11. Os outros dois Algarismos indicam o tipo de accionamento, que para um prato horizontal hidráulico, a referência é 13. O último Algarismo corresponde ao tamanho, por exemplo para um prato com um diâmetro de 400 mm, o Algarismo é 4. Desta forma podemos fazer a triagem, sabemos que a referência do prato vai começar com 11 13. O diâmetro escolhido para o prato é de 500 mm, por se entender que seriam uma dimensão razoável. No entanto será necessário verificar se para este valor, a carga, o momento de inércia da carga (dispositivo de aperto mais peça) e binário causado pela carga excêntrica são aceitáveis (Fig 4.23 - (1) peso suportável, (2) carga excêntrica).

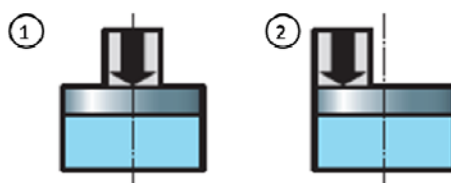


Fig 4.23 - (1) peso suportável, (2) carga excêntrica *

A carga máxima de segurança é de 1000 kg o que é muito inferior aos 62.8 kg correspondentes ao peso total das quatro cargas. O binário causado pela carga excêntrica é igual a $15.7 \times 0.395 = 6.2$ Nm, o que também é muito inferior a 1200 Nm, valor limite de catalogo. O momento de inércia máximo (J_{max}) para este prato é de 45 kgm^2 . Para saber o momento de inércia do sistema é necessário recorrer à equação (4.3).

$$J = 1.1 \cdot r m^2 \cdot m \cdot c \quad (4.3)$$

Nesta equação J corresponde ao momento de inércia, r ao raio de giração e c é número de cargas individuais. Substituindo o raio giração por 0,395 m (distância do furo da peça ao eixo de indexação, ver Fig 4.16) e sabendo que a massa aproximada do dispositivo de aperto mais a peça ronda os 15.7 kg. Podemos agora substituir estes valores na equação (equação (4.3)), o que vai dar um J igual a 10.7 kgm^2 , o que é inferior ao J_{max} , estipulado no catálogo da Fibro. Desta forma podemos dizer que o prato escolhido está bem dimensionado para esta máquina.

* Imagem retirada de FIBRO GmbH, 2001, ver secção Bibliografia.

Fases do projecto

Uma vez feita a escolha do prato divisor, optou-se por projectar uma placa que vai servir de interface entre o prato divisor e os dispositivos de aperto (Fig 4.24). A esta placa atribui-se o nome de falso prato.



Fig 4.24 – Falso prato e cavilhas de posicionamento.

Neste vão ser colocados os dispositivos de aperto que serão posicionados a partir de cavilhas de posicionamento $\varnothing 8H7$ que vão ser introduzidas em furos existentes no falso prato (Fig 4.25). O ajustamento entre a cavilha e o furo H7/m6 de acordo com a norma ISO 8734, o que constitui um ajustamento deslizante justo, de montagem manual.

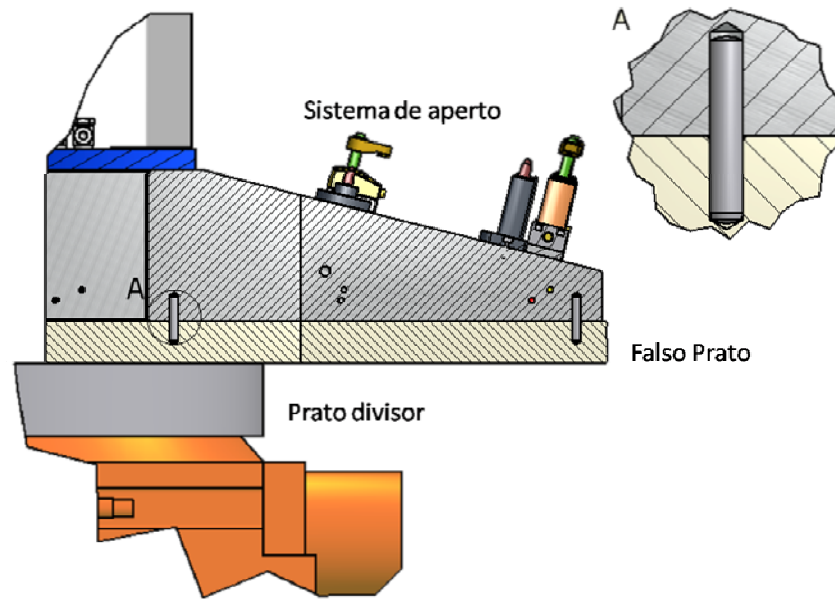


Fig 4.25 – Posicionamento dos dispositivos de aperto no falso prato.

As cavilhas estão dispostas da forma apresentada na Fig 4.26, uma vez que esta disposição assegura uma maior precisão no posicionamento da base do sistema aperto, uma vez que deste modo, as cavilhas se encontram o mais distante possível.

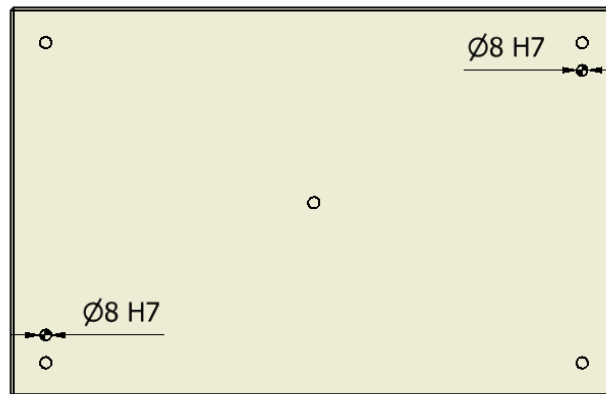


Fig 4.26 – Posição das cavilhas no sistema de aperto.

Outro aspecto também importante é garantir a centragem do prato divisor com o falso prato. Para este efeito foi projectada uma peça cilíndrica em aço de cementação 16MnCr5 (ver Fig 4.27).



Fig 4.27 – Veio de centragem do falso prato

O ajustamento entre o furo do falso prato e o veio de centragem deverá ser justo mas no entanto fácil de montar, portanto foi escolhido um ajustamento h6/H7 que é um ajustamento deslizante justo, passível de montagem manual, ideal para acoplamentos. No entanto, o acoplamento do veio em relação ao prato divisor poderá ser mais rígido e para isso pode-se optar por um ajustamento k6/H7. Este é um ajustamento com aperto, que garante fixação contra deslizamento e rotação, sendo no entanto desmontável. Na figura Fig 4.28 podemos visualizar a localização dos acoplamentos descritos

Uma vez estando o prato divisor e o falso prato centrado, apenas falta bloquear o movimento relativo de rotação entre estes dois. Para este efeito terá que ser usada uma cavilha de posicionamento cilíndrica ISO 873, que será introduzida num furo passante existente no falso prato, atravessando este até atingir um furo cego no disco do prato divisor.

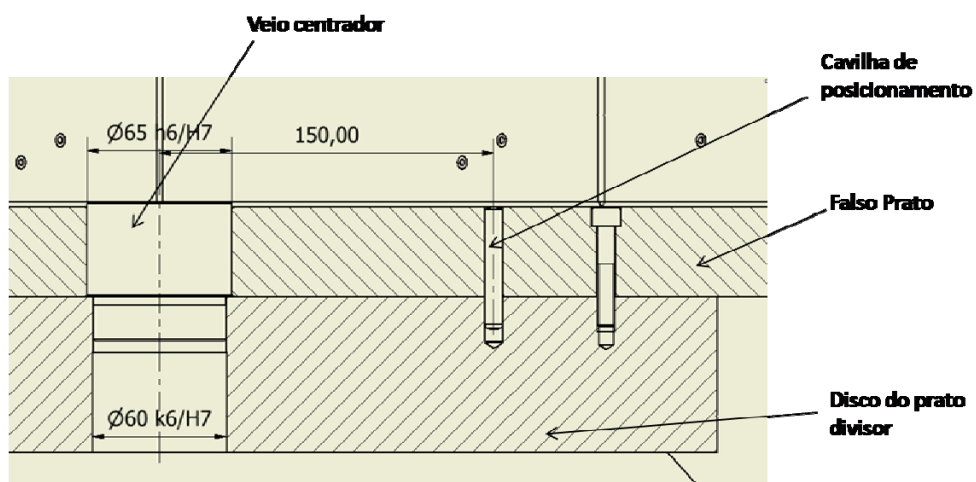


Fig 4.28 – Cavilha de posicionamento do falso prato.

Na seguinte ilustração (Fig 4.29) podemos visualizar a posição da cavilha anteriormente referida em relação ao disco do prato divisor.

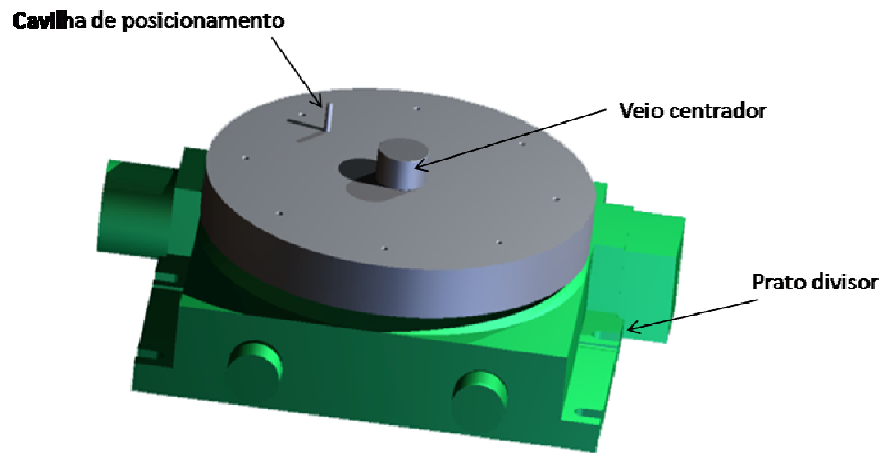


Fig 4.29 - Prato divisor escolhido e posição da cavilha.

O aspecto de todo conjunto está representado na Fig 4.30 onde se pode visualizar o falso prato e a forma como os sistemas de aperto estão posicionados neste.



Fig 4.30 – Conjunto de falso prato com os dispositivos de aperto.

Fases do projecto

A efectuar a ligação entre os dispositivos de aperto existe uma placa feita em aço que também serve de reforço a todo o conjunto. A ligação dos sistemas de aperto, placa e falso prato é feita através de dois parafusos de oco hexagonal M8 (ver Fig 4.31). Outra função desta placa é o de servir de suporte do distribuidor rotativo, cuja descrição será feita mais à frente neste relatório.

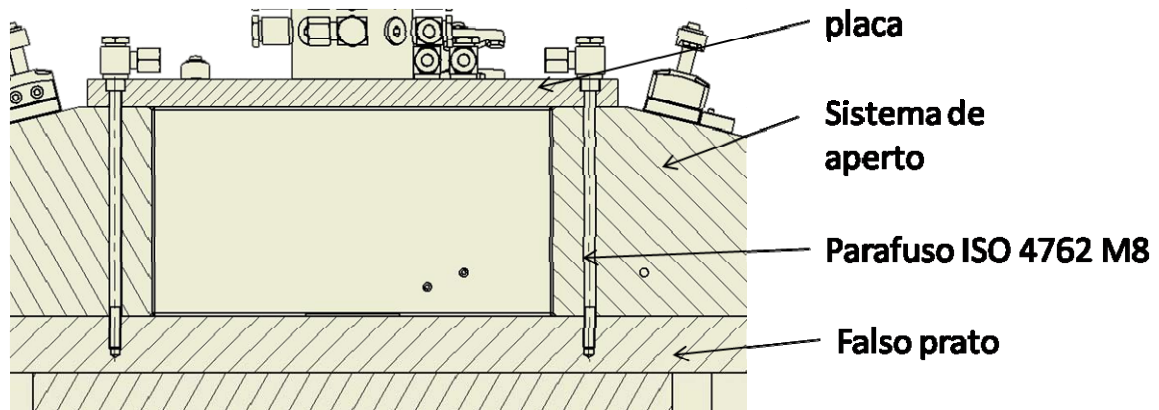


Fig 4.31 – Ligação aparafusada do dispositivo de aperto ao falso prato.

Na Fig 4.32. - Está representado o detalhe do conjunto da placa com o distribuidor rotativo acoplado a esta.

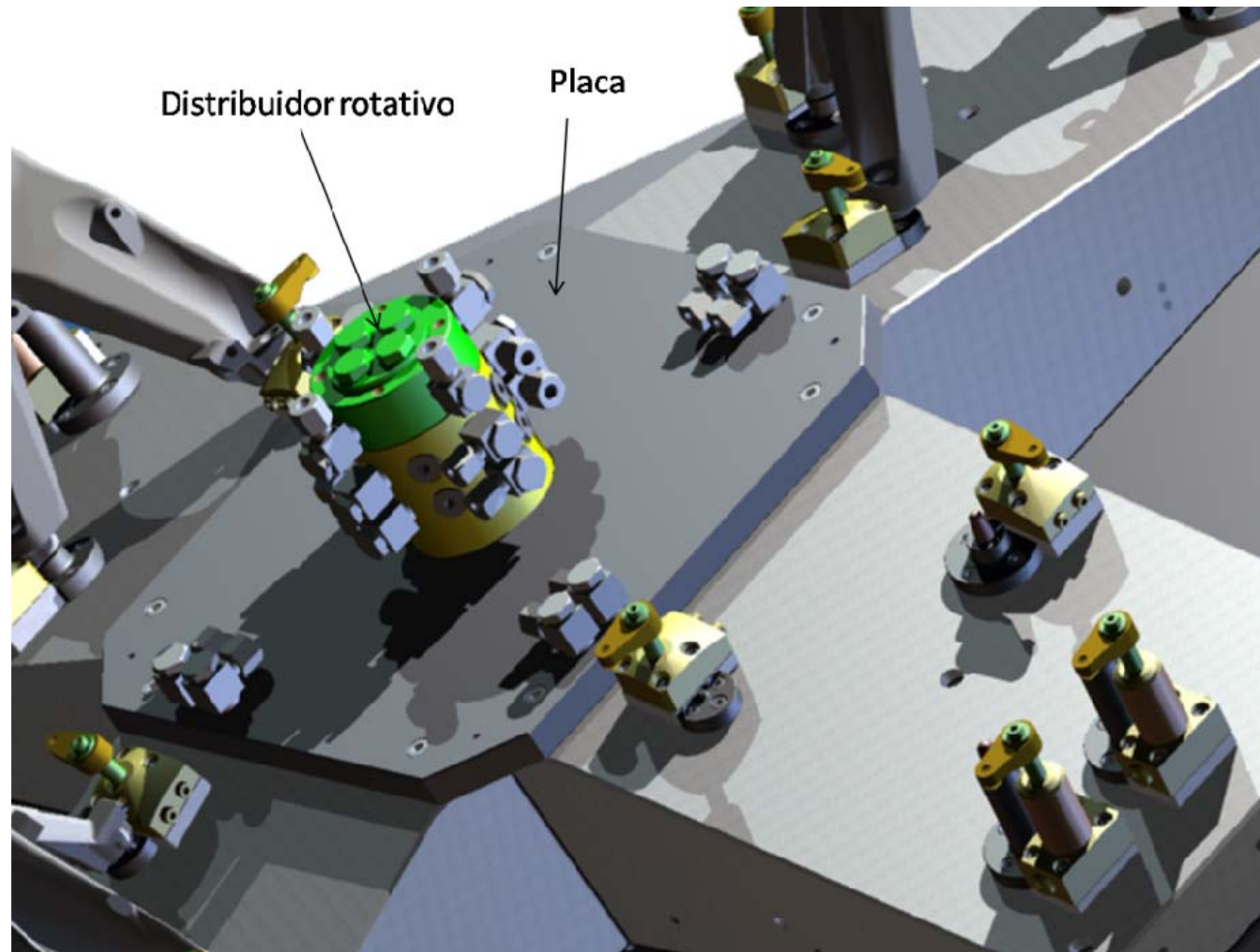


Fig 4.32 – Aspecto final do conjunto dos sistemas de aperto e placa de suporte do distribuidor rotativo.

4.3 Escolha das unidades de maquinação e projecto das colunas de fixação

Como já foi referido anteriormente, as operações de maquinação a serem realizadas são a fresagem, furação e a roscagem. Uma vez projectados os sistemas de aperto e a forma como estes vão circular entre estações, o passo seguinte consiste na escolha das unidades de maquinação. Estas devem ser unidades robustas e preparadas para grandes cadências de produção. As unidades são dedicadas, isto é, vão efectuar sempre as mesmas operações sem alterações nas cotas nem da forma como vão trabalhar o material.

4.3.1 Fresagem

A fresagem é um procedimento de elaboração mecânica mediante o qual uma ferramenta (fresa), provida de arestas cortantes dispostas simetricamente em relação a um eixo, gira com um movimento uniforme e arranca material ao elemento que é empurrado contra esta. A máquina que realiza a fresagem denomina-se fresadora. Existem dois métodos fundamentais de arranque de apra:

Fresagem cilíndrica tangencial (Fig 4.33);

Fresagem frontal (Fig 4.34);



Fig 4.33 – Fresagem cilíndrica tangencial*.

* Imagem retirada de Ferraresi, 1970, ver secção Bibliografia.

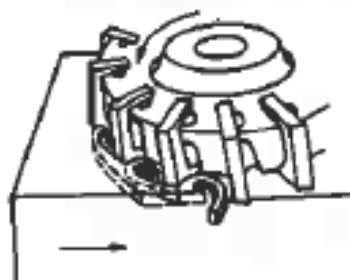


Fig 4.34 – Fresagem frontal*.

O movimento de corte é movimento entre a peça e a ferramenta, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única remoção de aparas. O movimento de avanço é o movimento entre a peça e a ferramenta, que, juntamente com o movimento de corte, origina um levantamento repetido ou contínuo de aparas. Conforme o sentido do movimento de corte podemos dizer se estamos perante uma fresagem concordante ou discordante (Fig 4.35).

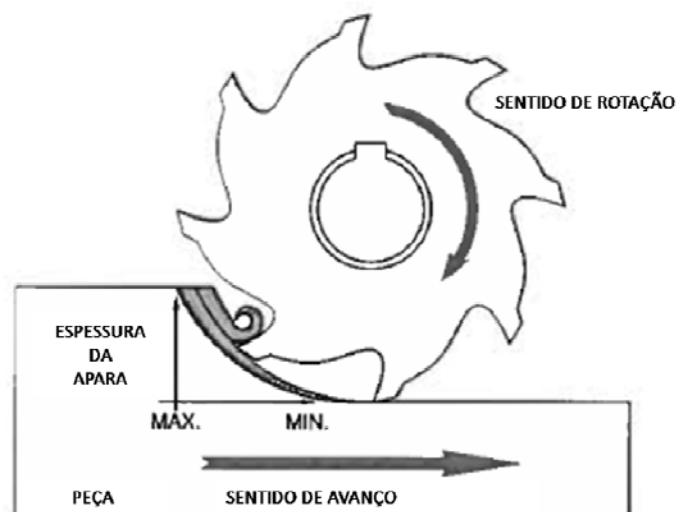


Fig 4.35 - Fresagem discordante. †

* Imagem retirada de Ferraresi, 1970, ver secção Bibliografia.

† Adaptação de figura retirada de Steve F. Krar *et al*, 2005, ver secção Bibliografia.

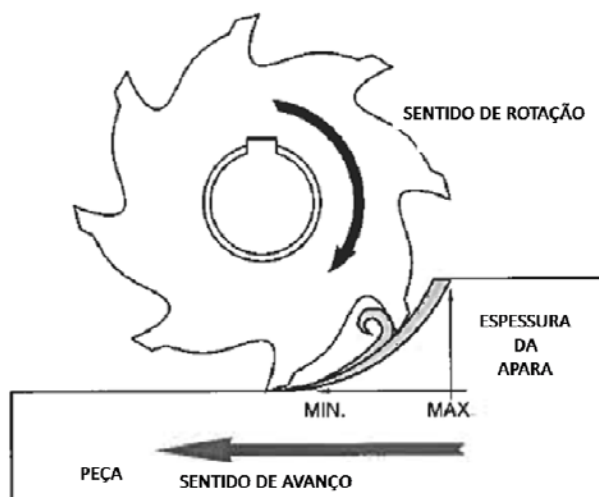


Fig 4.36 - Fresagem concordante.*

A fresagem discordante (Fig 4.35) é a mais aplicada em metais. A apara começa a ser arrancada numa zona de espessura quase nula pelo que, a princípio, não existirá corte mas sim deslizamento do gume de corte na superfície. A força de corte varia de forma crescente, puxando sempre a peça para a ferramenta. Na fresagem concordante (Fig 4.36), o gume de corte ataca a apara na sua zona mais espessa. A força de corte evolui de forma decrescente, empurrando sempre a peça. Este movimento dá possivelmente melhor acabamento, no entanto é muito mais exigente para a máquina.

Segundo a *Seco*, uma fabricante conceituada de ferramentas de corte, o processo de selecção de uma fresa segue as seguintes etapas:

- Escolher o tipo de fresa (se é fresagem cilíndrica tangencial, fresagem frontal, vertical, horizontal)
- Selecção do diâmetro da fresa (o diâmetro ideal para um bom processo de maquinação é de uma 1.25 vezes a largura da peça, Fig 4.37)
- Selecção da pastilha.
- Selecção dos dados de corte: máxima profundidade de corte (Fig 4.38), avanço por dente e avanço por rotação.

* Adaptação de figura retirada de Steve F. Krar *et al*, 2005, ver secção Bibliografia.

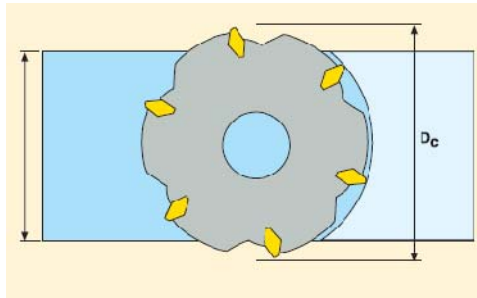


Fig 4.37 – Diâmetro da fresa em relação ao comprimento da peça *

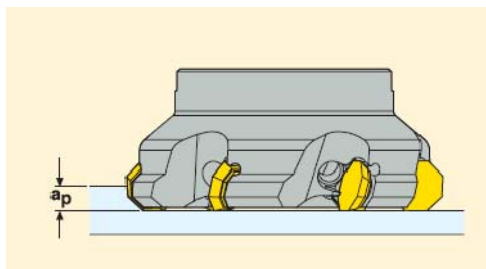


Fig 4.38 – Profundidade de corte a_p *

Para o trabalho em questão a melhor opção seria uma fresagem frontal vertical. Na Fig 4.39 podemos ver o sistema de referenciação das fresas da *Seco*.

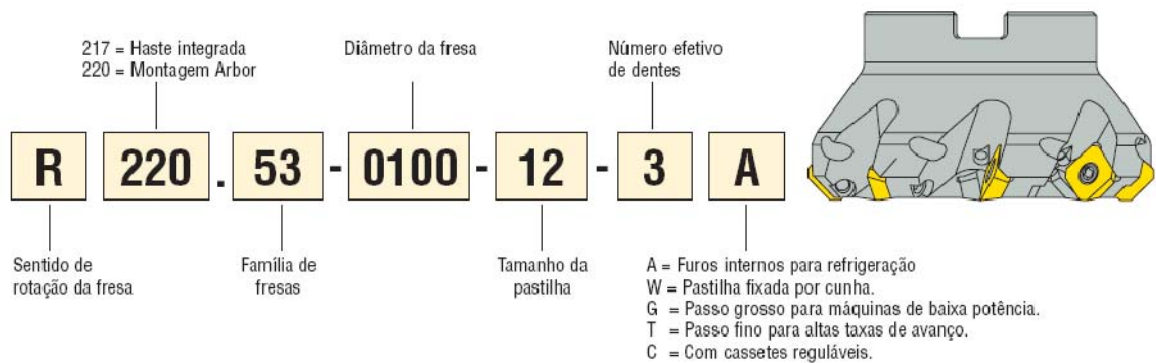


Fig 4.39 – Chaves de código para fresas da Seco *

* Imagens retiradas de Seco Tools AB, 2009, ver secção Bibliografia.

Para este caso sabemos que o sentido de rotação é sentido horário (R), sem haste integrada (220). De acordo com o catálogo para uma fresagem corrente a pouca profundidade de corte a primeira opção seria uma QuattroMill-09 cujos diâmetros vão de 20 a 500 mm com pastilha de 9mm. Uma vez que o comprimento máximo da superfície a fresar é de aproximadamente 45mm, a fresa deverá ter um diâmetro que é 1.25 vezes este, o que dá 56.25 mm. Para este tipo de fresa o diâmetro mais próximo é o de 63mm, o que vai corresponder à referência R 220.53-0063-09-7A.

As pastilhas recomendadas pela *Seco* para a fresagem de ligas de alumínio com percentagem de silício inferior a 16% são, como primeira opção as SEEX 09T3AFN-E04 H15 (Anexo B). Esta referência diz-nos que se trata de uma pastilha quadrada, especial, com 9mm de espessura, aresta de corte bem positiva e bem aguda, da classe H15. Esta é uma classe sem cobertura (uma vez que existem dois tipos de classes, com e sem cobertura), de elevada dureza e resistência ao desgaste, própria para fresagem de alumínio. Para melhor compreender a referência ver Anexo B. O avanço por dente recomendado (f_z) para a liga em questão varia entre 0.09 e 0.16 mm/dente, segundo a Seco deve-se optar por um valor médio desta gama. Para obter um bom acabamento superficial, o avanço por rotação, deve ser sempre menor que a largura da fase plana (B) (Fig 4.40).

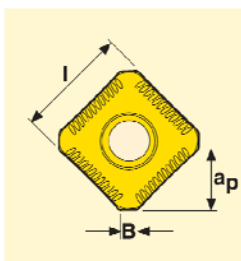


Fig 4.40 – Largura da fase plana *

Portanto segundo o catálogo, o avanço por rotação (f) recomendado para esta classe é de 1.5mm/rot.

* (Seco Tools AB, 2009)

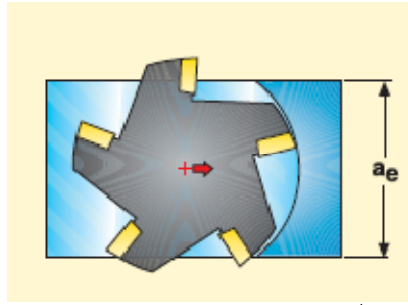


Fig 4.41 – Largura de corte.*

Para o cálculo do consumo de potência consumida recorreu-se à equação (4.4), onde a_p é a profundidade de corte, a_e é largura de corte (Fig 4.41), v_f é velocidade de avanço, η é o rendimento e k_c é a força de corte por mm^2 .

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{60\,000\,000 \cdot \eta} k_c \quad (4.4)$$

Analisando esta equação, vemos que o produto de a_p por a_e dá-nos área de corte, que multiplicada por k_c , dá-nos a força de corte total. Como a potência é o produto da força pela velocidade, esta é obtida pela multiplicação da força de corte total ($a_p \cdot a_e \cdot k_c$) pela velocidade de avanço (v_f). Esta potência representa a quantidade de energia necessária por unidade de tempo, para efectuar a fresagem. Sabemos que a_p é no máximo 1 mm, a_e é aproximadamente 45mm, pelos cálculos presentes no Anexo B, o valor de k_c é 1272.9 N/mm² e que o rendimento da fresagem varia entre 60 a 80%. Apenas nos falta saber quanto vale v_f , o que pode ser calculado pela equação (4.5).

$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z \quad (4.5)$$

Nesta equação, n representa a velocidade de rotação, z_n o número efectivo de dentes e f_z o avanço por dente. Para esta fresa z_n vale 7 (ver Fig B.2 do Anexo B), normalmente usa-se 0.1 para f_z e n é obtido pela equação (4.6). Nesta, v_c é a velocidade de corte em m/min e D_c é o diâmetro de corte da fresa em milímetros (ver Fig 4.37).

* (Seco Tools AB, 2009)

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \quad (4.6)$$

Para ligas de alumínio com percentagem de silício inferior a 16% e pastilhas de classe H15, a velocidade de corte (v_c) recomendada é 1050 m/min (ver Tabela B.2 - Selecção das pastilhas, avanço por dente, velocidade de corte e avanço por rotação do Anexo B). Substituindo agora este valor na equação (4.6) vamos obter uma velocidade de rotação (n) igual a 5305,16 rpm. Sendo assim podemos calcular v_f usando a equação (4.5). Esta vai dar 3713.6 mm/min. Substituindo os valores até então obtidos na equação (4.4) e estipulando que o rendimento andarรก perto dos 75%, a potência vai ser igual a 4,72 kW.

Uma vez escolhida a ferramenta   necess rio escolher a fresadora. Tendo em conta que se trata de uma m quina *transfer*, a ferramenta   que se vai deslocar em vez da pe a. O modo como esta opera o   realizada est  representado na Fig 4.42. Trata-se de uma fresagem frontal, em que a fresa para al m do movimento de rota o possui tamb m um movimento de transla o na direc o apresentada na figura.

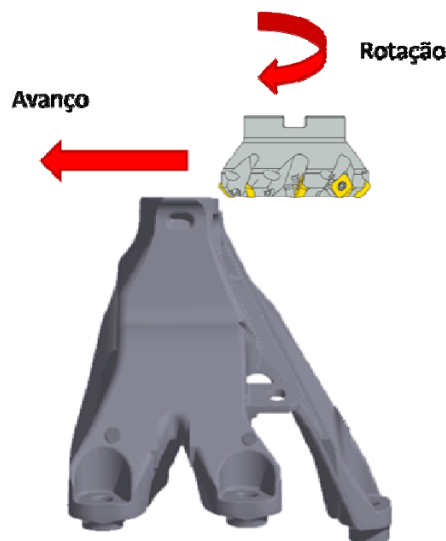


Fig 4.42 – Fresagem frontal da pe a.

Para a escolha da fresadora poder-se-  recorrer   *Somex*, uma empresa com grande leque de oferta em unidades de maquina o para m quinas especiais. Para esta tarefa  

Fases do projecto

necessário ter em conta duas características fundamentais, a velocidade de rotação e a potência consumida pela fresagem.

Consultando o catálogo da *Somex* podemos optar por uma fresadora *MAX 30B*. Esta fresadora tem uma gama de motores que vai dos 1.5 kW até 5 kW, e uma velocidade de rotação máxima de 9200 rpm, o que satisfaz as necessidades de potência e de velocidade rotação. O avanço da fresa deverá ser feito por uma unidade de avanço. Dentro da gama de unidades de avanço da *Somex* existem vários tipos de accionamento: accionamento hidráulico, pneumático e eléctrico. Uma vez que nesta máquina vai ser implementado um circuito hidráulico, e que as forças necessárias para o avanço na maquinagem de ligas de alumínio são elevadas, a escolha de unidade de avanço hidráulica constitui uma boa opção.

De acordo com o fabricante, a unidade de avanço indicada para a *MAX 30B* é a unidade *UA 3* com os cursos máximos de 160 ou 320mm. Neste caso opta-se pelo curso mais pequeno, que é 160 mm. Dentro desta gama existem ainda duas versões de implementação: carro móvel e base móvel. Tendo em conta as condições de funcionamento, a preferência recai sobre a base móvel. Para este modelo existe uma versão com accionamento hidráulico capaz de uma força de avanço de 7000N. Para o modelo escolhido a referência é *UA 3 H 00*, em que a letra *H* indica que se trata de um accionamento hidráulico e os algarismos 00 indicam que se trata da versão de carro móvel.

Na Fig 4.43 podemos ver toda a unidade de fresagem, com a respectiva fresa, a unidade de avanço e coluna de suporte.

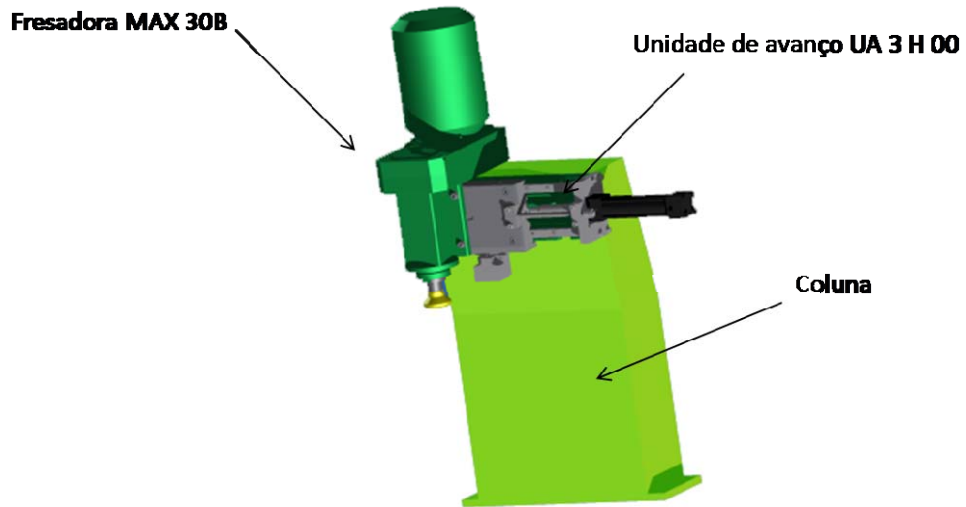


Fig 4.43 – Unidade de fresagem.

O movimento de recuo da fresa terá que ser feito com esta em rotação. Este procedimento deve-se ao facto de o recuo da fresa parada danificar o acabamento. Outra forma de contornar este problema é, após a primeira passagem, levantar a fresa e fazer o recuo numa posição mais elevada.

4.3.2 Furação

A estação posterior à fresagem é a furação que tem a particularidade de efectuar dois furos com diâmetros distintos na mesma etapa. Como já referido no capítulo 3 vai ser necessário efectuar um furo com 10mm de comprimento e diâmetro nominal 13-0.3mm juntamente com um furo passante de preparação para uma rosca M12x1.5. O furo de preparação terá que ter um diâmetro igual ao diâmetro nominal menos o passo; neste caso um diâmetro de 10.5mm com uma tolerância de $\pm 0.02\text{mm}$. De acordo com estas características a broca para a furação terá o formato que se pode ver na Fig 4.44 e Fig 4.45.

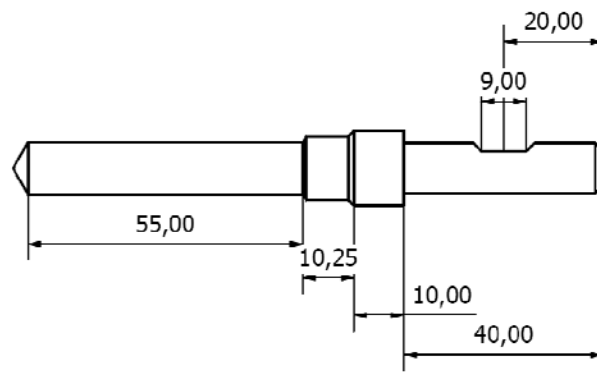


Fig 4.44 – Comprimentos da broca.

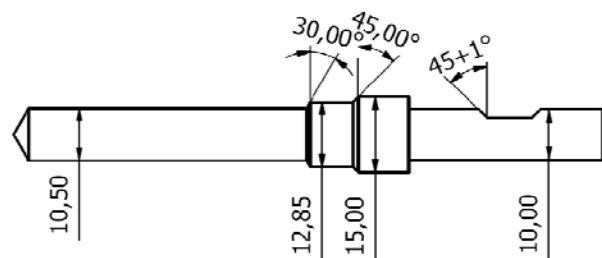


Fig 4.45 – Diâmetros da broca.

Para a unidade de furação recorreu-se mais uma vez à *Somex*. Segundo esta, a velocidade de corte indicada para ligas de alumínio injectado usando uma broca endurecida HM – K20 é de 150 mm/min. (ver Tabela B.6 do Anexo B) A velocidade de rotação vai ser dada pela seguinte equação (4.7) em que v_c é a velocidade de corte em mm/min, e d é o diâmetro da broca em mm.

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \quad (4.7)$$

Considera-se uma broca com diâmetro constante, igual ao maior diâmetro de furação com o intuito de estimar a velocidade por excesso. Substituindo na equação (4.7), v_c por 150 mm/min e d por 13 mm, n vai ser igual a 3672.8 rpm. O avanço por rotação recomendado para este tipo de broca com 13mm de diâmetro é de aproximadamente 0.2mm/rot (ver Tabela B.5 do Anexo B). Multiplicando este valor por n , vamos obter a velocidade de avanço recomendada, que vai dar 734.56 mm/min.

Projecto de uma máquina especial para maquinação

Dentro da gama de furadoras da *Somex* a escolha recai sobre o modelo *MAX 20 F*. Com motorizações 1.1kW até 1.5kW e velocidade de rotação máxima de 10 000 rpm. Esta unidade possui avanço próprio com um curso total de 125 mm dividido em duas fases: um curso de avanço rápido para aproximar a broca da peça e um curso de avanço de furação mais lento. Estes cursos são reguláveis, de modo que se pode utilizar 65 mm para o avanço rápido e 60 mm para o curso de furação. O recuo é feito à mesma velocidade do avanço rápido. Sabendo que a velocidade de avanço é de 734.56 mm/min e o curso de furação é de 60mm podemos inferir que o tempo de furação é igual a 4.9s. O avanço é pneumático, sendo a velocidade de avanço regulável pelo caudal de ar que passa no cilindro. Na Fig 4.46 pode-se visualizar unidade de furação integrada na coluna da unidade de furação.



Fig 4.46 – Furadora *Somex Max 20F* integrada na coluna da unidade de furação e dispositivo de aperto com a peça a ser processada.

4.3.3 Unidade de roscagem

O último posto de trabalho é o posto de roscagem. Neste posto vai ser criado o roscado interior M12x1.5 através da passagem de um macho apropriado cujo avanço por rotação terá que ser igual ao passo da rosca. Mais uma vez recorreu-se a uma unidade da *Somex*; neste caso a mais indicada é o modelo *MAX 20 TE*. Este possui uma velocidade de rotação máxima de 3800 rpm e um motor de 1.5 kW. De acordo com a *Somex*, para ligas de alumínio com percentagem de silício inferior a 10% e usando um macho com revestimento TiN, a velocidade de corte recomendada é 40m/min. Usando a equação (4.7) obtém-se uma velocidade de rotação igual a 1061 rpm. Sendo assim, a velocidade de avanço vai ser igual ao produto do passo pela velocidade de rotação, o que dá um valor de 1591.5 mm/min. Podemos agora calcular o tempo de roscagem sabendo que o comprimento do furo roscado é 40mm. Este vai ser aproximadamente 1.5s. Este tempo terá que dobrado, uma vez que para retirar o macho é necessário realizar o movimento inverso à mesma velocidade.

Na Fig 4.47 pode-se visualizar o posto de roscagem constituído pela respectiva coluna e unidade *Max 20 TE*.

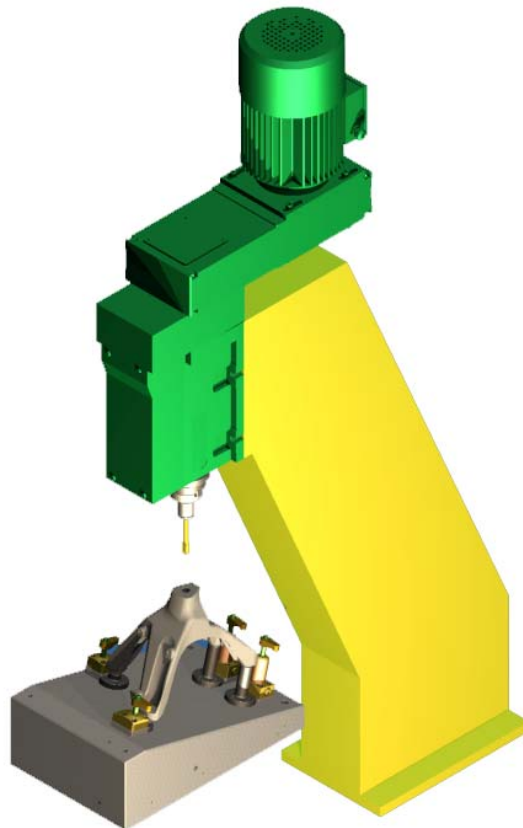


Fig 4.47 – Roscadora *Somex Max 20TE* integrada na coluna da unidade de roscagem e dispositivo de aperto com a peça a ser processada.

Na Fig 4.48 podemos visualizar a disposição das unidades de maquinação ao redor do conjunto formado pelos dispositivos de aperto e sistema de indexação.

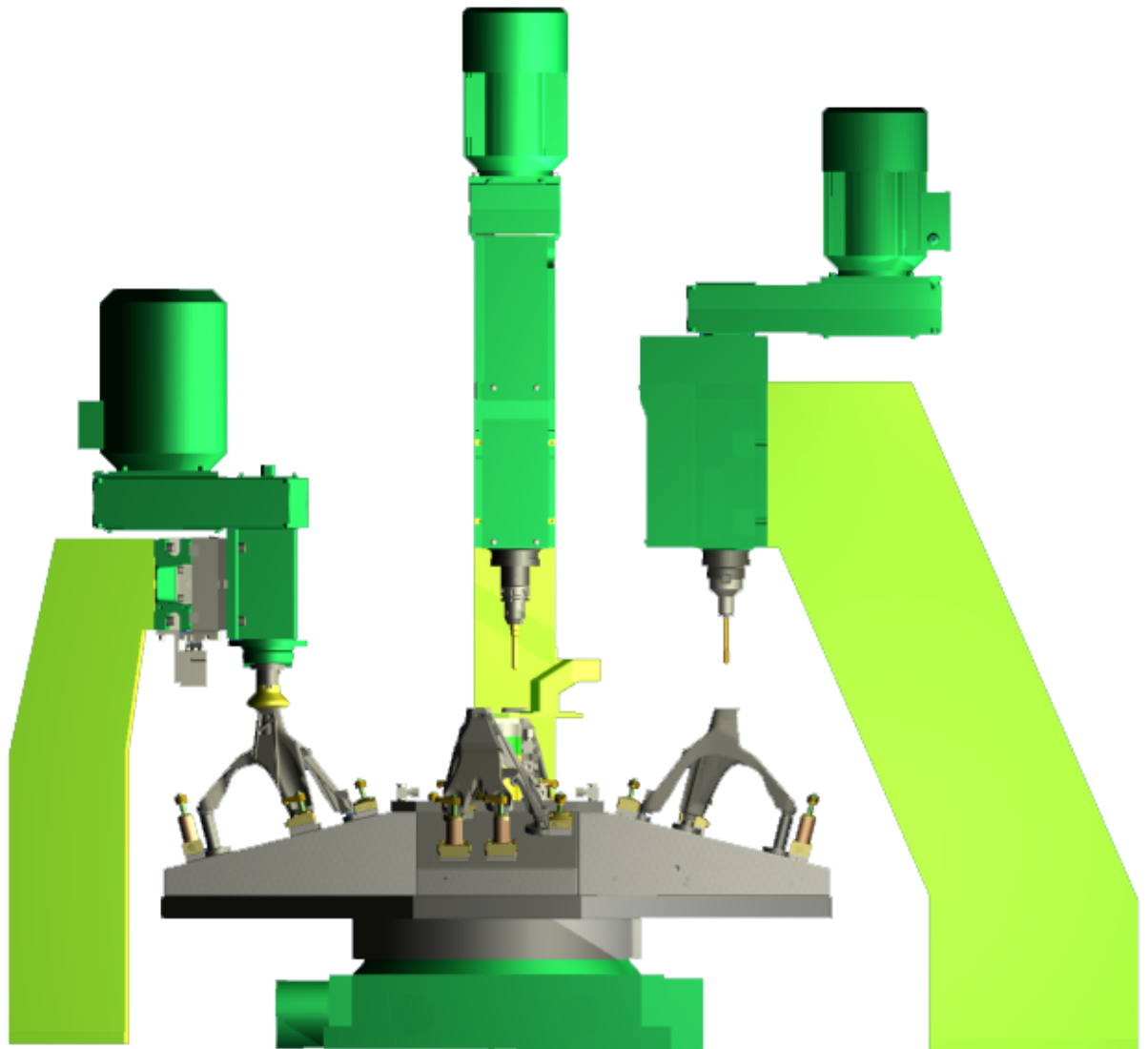


Fig 4.48 – Distribuição das unidades de maquinação.

4.4 Projecto da estrutura

A estrutura vai ser o suporte de todos os componentes anteriormente projectados. Esta vai ser construída em chapa soldada de 20 mm de espessura, ficando com um aspecto semelhante a um paralelepípedo. Uma das chapas vai servir de base para as unidades de maquinagem e prato divisor; a esta vão ser soldadas quatro chapas que vão servir de apoios. Existe mais uma chapa horizontal que por baixo da chapa da base que serve de reforço. Na Fig 4.49 pode-se ver as chapas que vão constituir a estrutura.

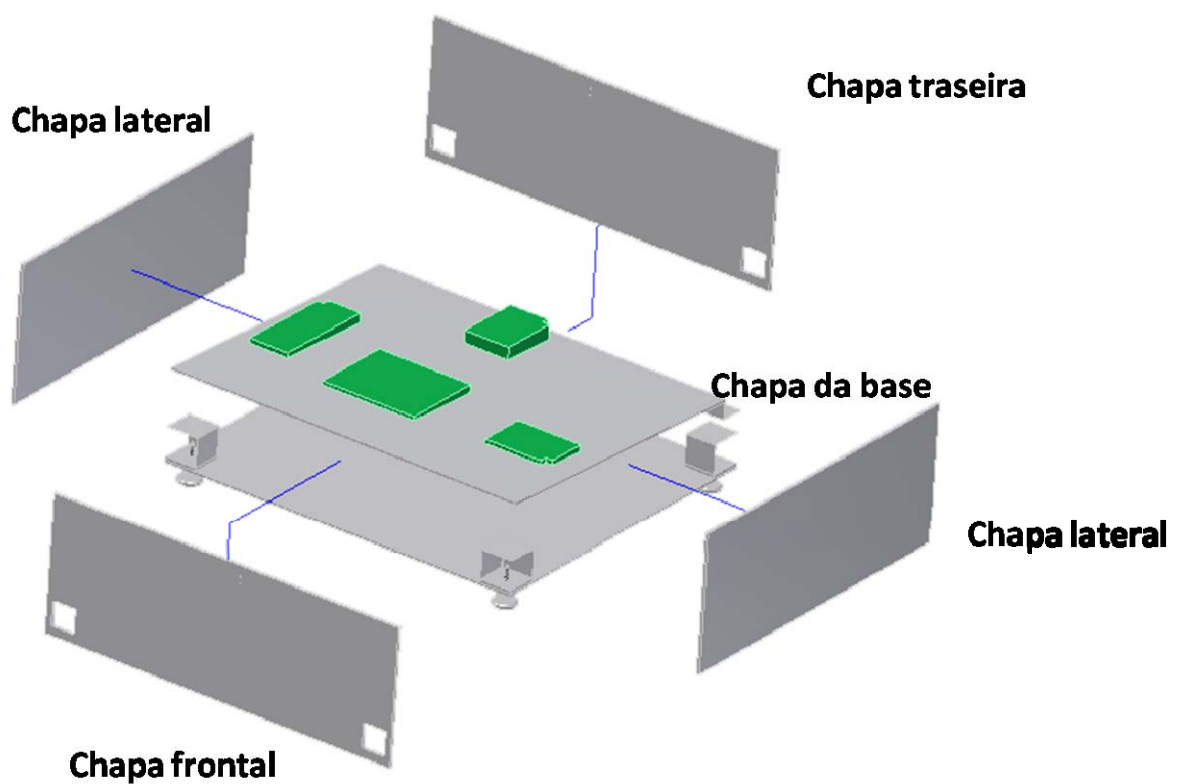


Fig 4.49 – Vista explodida da estrutura.

Com o intuito de nivelar a máquina vão ser colocados niveladores em cada canto da estrutura. Este é um dispositivo é constituído por três componentes: fuso, placa e patela (Fig 4.50). O fuso é um veio com uma rosca M20x1.5 em que uma das extremidades é esférica e a extremidade oposta tem um sextavado hexagonal. A extremidade esférica vai assentar no furo cónico existente na patela impedindo deste modo os deslocamentos no plano perpendicular ao eixo do fuso, permitindo no entanto as rotações (Fig 4.51). O facto de o sextavado ter um

diâmetro menor que o diâmetro nominal da rosca possibilita a desmontagem do fuso em qualquer sentido. Na chapa frontal e traseira da estrutura deverão existir aberturas que permitam a um operador regular o nível da máquina usando uma chave apropriada. Convém também referir que a escolha de um passo 1.5 para um diâmetro nominal de 20mm vai reduzir em grande medida a força necessária para elevar a máquina e possui melhor capacidade de auto-retenção. Na Fig 4.51 podemos ver uma representação da modelação do fuso e patela

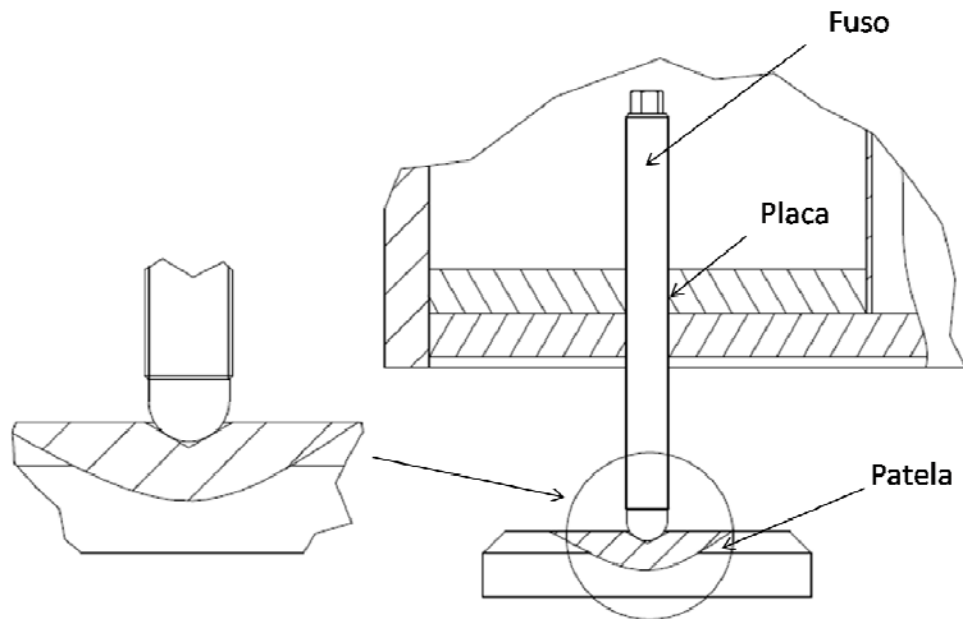


Fig 4.50 – Nivelador.



Fig 4.51 – Fuso mais patela.

A placa de base deverá ter uma inclinação que permita o escoamento dos fluidos de maquinação, limalhas e aparas para uma calha, o que vai obrigar a recorrer a blocos de aço para apoiar as unidades de maquinação e o prato divisor. Na Fig 4.49 podemos ver estes blocos representados a verde, que após correctamente posicionados terão que ser soldados à placa, sendo depois todo o conjunto fresado. Esta prática garante que as unidades de

Fases do projecto

maquinação e o prato divisor sejam montadas à mesma cota. O ângulo de inclinação da placa de base vai influenciar a espessura dos blocos, sendo que, quanto maior for a inclinação mais espessos serão estes. No entanto se a inclinação for muito pequena o escoamento não é tão eficaz. Portanto será necessário encontrar a melhor inclinação para esta placa, verificando-se que o melhor valor seria três graus, como se pode ver na Fig 4.52.

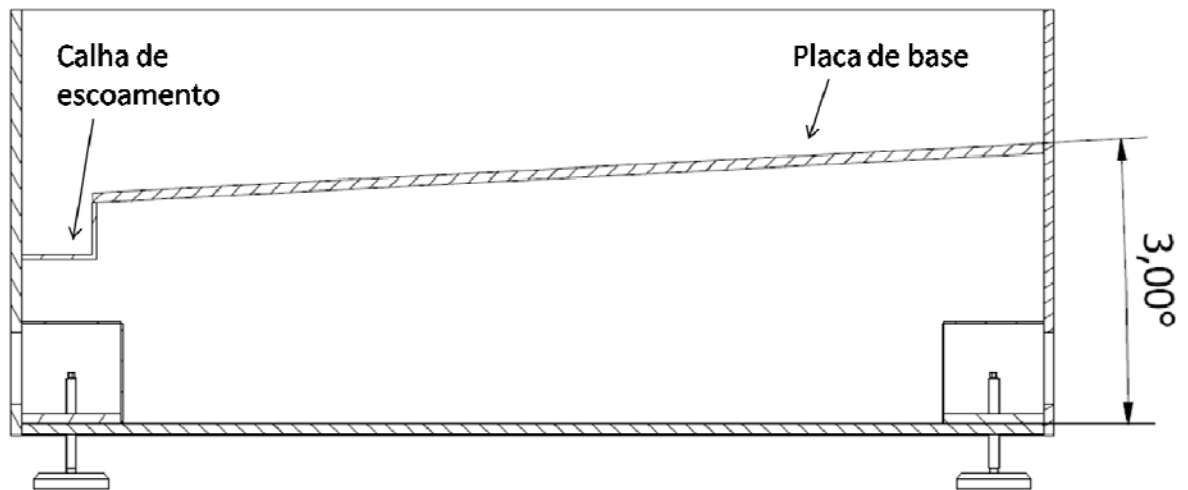


Fig 4.52 – Ângulo da placa de base em relação à horizontal.

Na figura Fig 4.53 podemos ver a estrutura em corte.

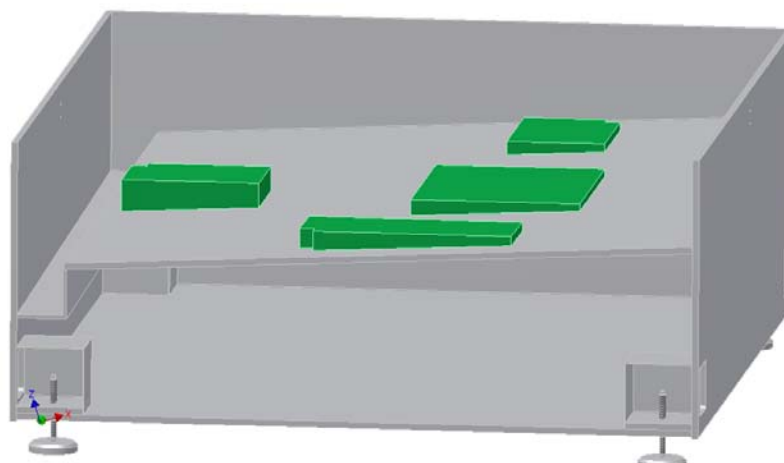


Fig 4.53

4.5 A blindagem

A blindagem é a cobertura da máquina e serve como barreira física entre o operador e os postos de trabalho. Esta é constituída por painéis de aço ligados a um esqueleto de perfis também de aço. Para a introdução e remoção da peça pelo operador existe uma abertura que é obturada por uma porta automática de accionamento pneumático. São incluídas na blindagem mais duas portas de abertura manual com o objectivo facilitar certas operações de reparação que possam vir a ocorrer. Na Fig 4.54 está representado o esqueleto da blindagem e a forma como este assenta na estrutura.

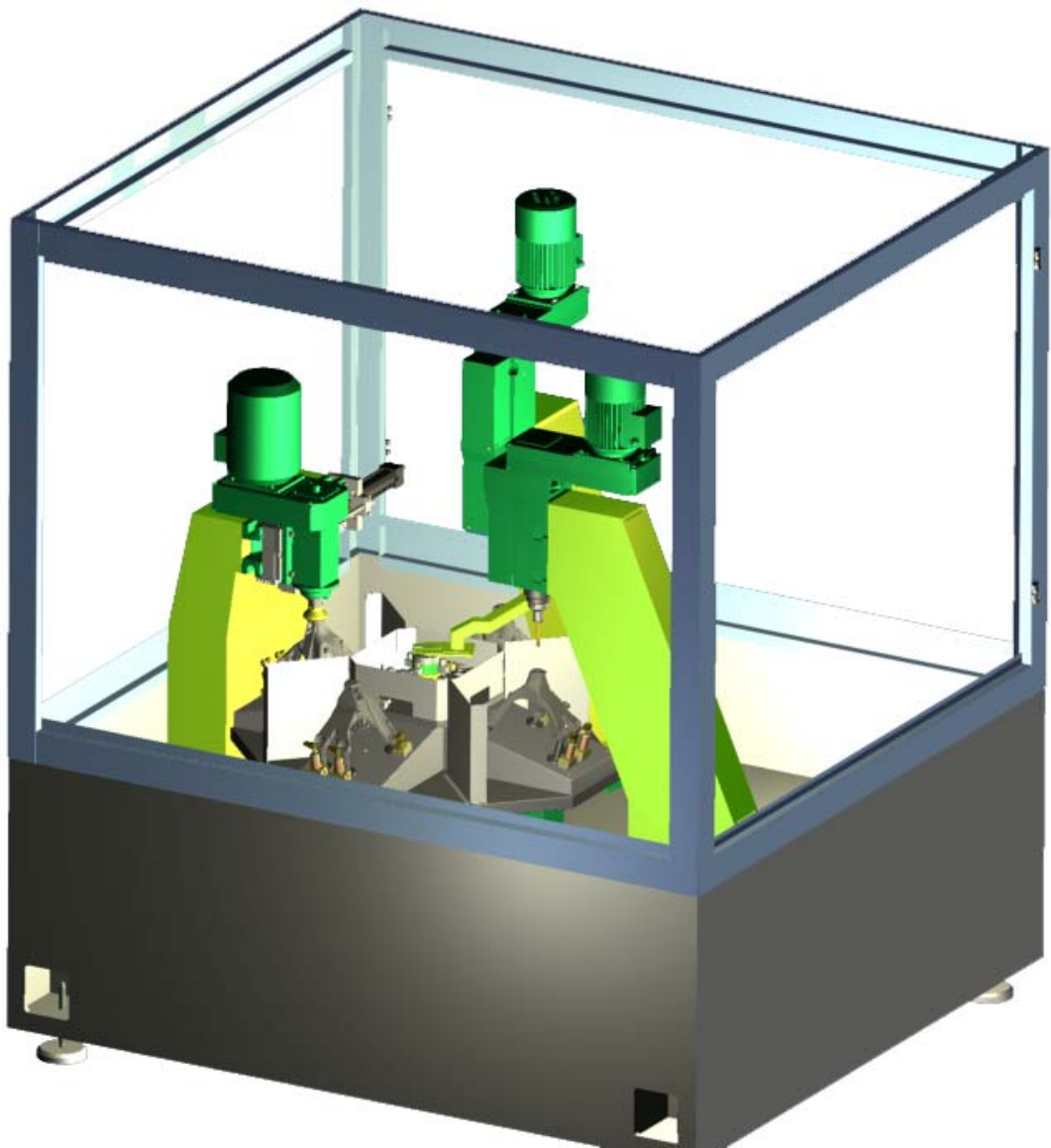


Fig 4.54 – Esqueleto da blindagem.

Fases do projecto

A porta automática é constituída por um painel em chapa de aço quinada que desliza sobre duas corrediças metálicas, sendo actuada por um cilindro pneumático (ver Fig 4.55). Durante a fase de trabalho das unidades de maquinagem a porta deverá manter-se fechada por motivos de segurança, abrindo apenas para a operação de carga e descarga da peça.

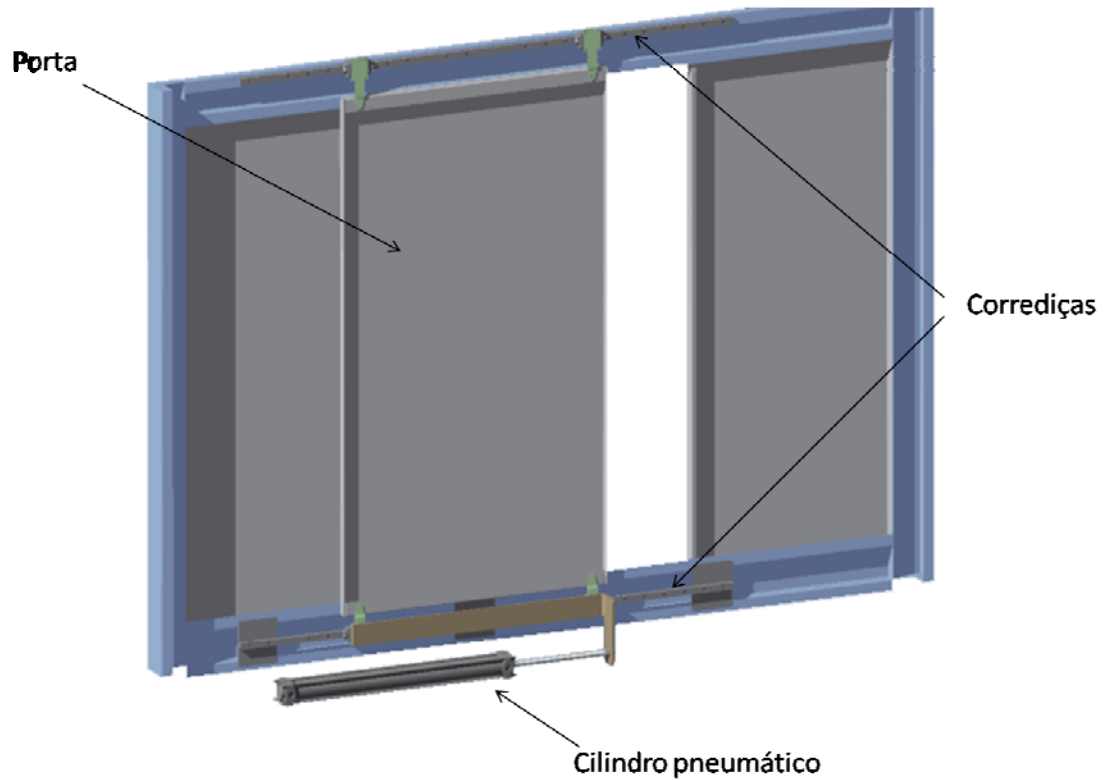


Fig 4.55 – Porta automática

O guiamento da porta é um guiamento linear de esferas que se caracteriza por ser fiável e eficaz.

As duas portas adicionais são basculantes e apenas devem ser utilizadas quando a máquina está parada para efectuar operações de reparação e manutenção (Fig 4.56) Com o intuito de permitir visibilidade para o interior da máquina, são usados painéis de policarbonato transparente. Este material é bastante bom em termos de segurança, uma vez que, quando quebrado não estilhaça criando laminas cortantes que podem ferir um operador como acontece com o acrílico.

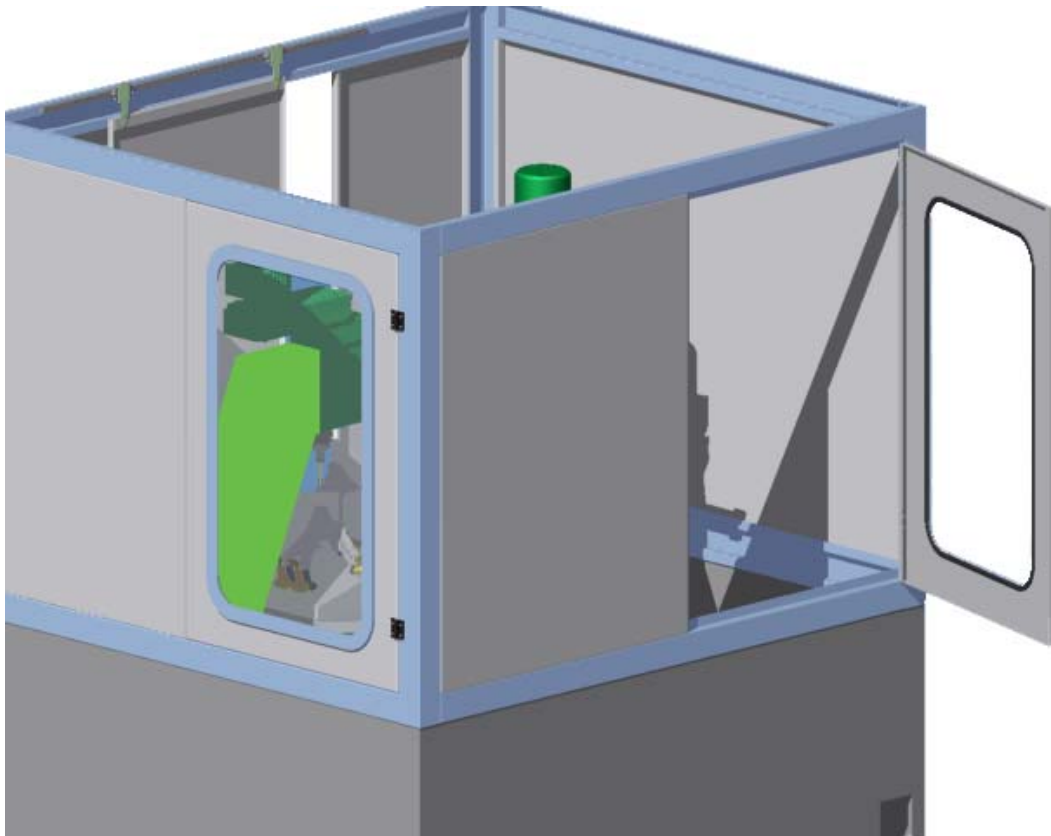


Fig 4.56 – Portas de acesso

O projecto de uma blindagem ou cobertura deve sempre ter em conta a salvaguarda da segurança do operador de máquina e das pessoas que estejam perto.

4.6 Sistema hidráulico e pneumático

4.6.1 Sistema hidráulico

O esquema hidráulico vem representado na Fig C.1 do anexo C, onde os grampos de aperto, prato divisor e unidade de avanço da fresadora estão representados como cilindros. A bomba utilizada para abastecer este sistema é de caudal variável que constitui a melhor opção para sistemas que com grandes variações de caudal.

4.6.2 Sistema pneumático

O sistema pneumático vem representado na Fig C.2 do anexo C e é responsável pelo avanço da unidade de furação e fecho e abertura da porta automática.

5 Conclusões e sugestões para futuros trabalhos

Este projecto foi elaborado com base numa situação concreta, tendo em vista uma peça real usada num modelo de automóvel existente no mercado. No entanto, a falta de uma realização concreta do que foi projectado pode levar a que algumas soluções aqui encontradas não sejam as mais adequadas em termos práticos. Admite-se que durante uma fase de construção algumas das soluções definidas podem vir a ser modificadas relativamente ao projecto inicial.

Este trabalho proporcionou uma valiosa experiência de aprendizagem, uma vez que para a sua execução foi necessário recorrer aos mais diversos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de mestrado. A experiência dos projectistas que concebem este tipo de máquinas é muito importante uma vez que podem dar a orientação necessária para encontrar as melhores soluções mais rapidamente. Neste caso, as orientações proporcionadas pelo Eng. Adérito Varejão revelaram-se de extrema importância uma vez que serviram de guia dentro do enorme leque de soluções possíveis.

O objectivo central do trabalho, que era o de conceber uma máquina capaz de efectuar acabamentos de peças, foi atingido. Aspectos mais relevantes como a concepção de um dispositivo de aperto e sistema de transferência eficazes foram descritos com maior cuidado. Existem considerações do projecto que não são referidas neste relatório dado que a exposição de todas o tornaria muito extenso e sairia fora do seu âmbito.

Alguns melhoramentos que poderiam ser introduzidos nesta máquina seriam o projecto de um sistema de aproveitamento das águas de maquinagem e sistema de purificação de ar, tendo em vista considerações de higiene e segurança no trabalho.

O sistema de aproveitamento das águas de maquinagem deveria ter a capacidade de separar limalhas e aparas para reciclagem e também efectuar a separação do óleo da água. Como existe propagação de partículas de óleo e poeiras provenientes da maquinagem, a instalação filtros e um centrifugador para purificação do ar seria um melhoramento possível.

Bibliografia

Dorf, Richard C. 1994. *Handbook of design, manufacturing and automation* . New York : John Wiley & Sons, 1994. 0-471-55218-6 .

Ferraresi, Dino. 1970. *Fundamentos da usinagem dos metais* . São Paulo - SP-Brasil : Edgard Blücher Ltda, 1970.

FIBRO GmbH. 2001. *Rotary Indexing Table with Face Gear*. Weinsberg : s.n., 2001.

Kaufman. <http://www.kaufmanmfg.com/machinery/drill-tapping.htm>. [Online]
Kaufman.

Roemheld, GmbH. 2007. Power Workholding. *Products for productivity*. 12 2007.

Seco Tools AB. 2009. *GB Milling*. FAGERSTA, Suécia : Seco Tools, 2009.

Somex Inc. 2001. *Production expert*. F-68190 Ensisheim : s.n., 2001.

Steve F. Krar, Arthur R. Gill, Peter Smid. 2005. *Technology of Machine Tools*. Nova York - EUA : McGraw Hill, 2005. 978 0 07 830722 5.

ANEXO A.

Desenho de construção da peça 8KO 199 308 BE

ANEXO B.

Tabela B.1 - Classificação dos materiais *Seco*. *

| Steel | | | | |
|-----------------|---|----------------------------|--------------------------------|-------|
| | | R_m (N/mm ²) | $k_c 1.1$ (N/mm ²) | m_c |
| 1 | Very soft low carbon steels. Purely ferritic steels. | <450 | 1350 | 0,21 |
| 2 | Free cutting steels. | 400 <700 | 1500 | 0,22 |
| 3 | Structural steels. Ordinary carbon steels with low to medium carbon content (<0,5%C). | 450 <550 | 1500 | 0,25 |
| 4 | Carbon steels with high carbon content (>0,5%C). Medium hard steels for toughening. Ordinary low alloy steels. Ferritic and martensitic stainless steels. | 550 <700 | 1700 | 0,24 |
| 5 | Normal tool steels. Harder steels for toughening. Martensitic stainless steels. | 700 <900 | 1900 | 0,24 |
| 6 | Difficult tool steels. High-alloy steels with high hardness. Martensitic stainless steels. | 900 <1200 | 2000 | 0,24 |
| 7 | Difficult high-strength steels with 42-56 HRc hardness. Hardened steels from material group 3-6. Martensitic stainless steels. | >1200 | 2900 | 0,22 |
| Stainless steel | | | | |
| 8 | Easy austenitic stainless steels. Free cutting stainless steels. Calcium treated stainless steels. | | 1750 | 0,22 |
| 9 | Moderately difficult stainless steels. Austenitic and duplex stainless steels. | | 1900 | 0,20 |
| 10 | Difficult stainless steels. Austenitic and duplex stainless steels. | | 2050 | 0,20 |
| 11 | Very difficult stainless steels. Austenitic and duplex stainless steels. | | 2150 | 0,20 |
| Cast iron | | | | |
| 12 | Medium hard cast iron. Grey iron. | | 1150 | 0,22 |
| 13 | Low alloy cast iron. Malleable cast iron. Nodular cast iron. | | 1225 | 0,25 |
| 14 | Moderately difficult alloy cast iron. Moderately difficult malleable cast iron. Nodular cast iron. | | 1350 | 0,28 |
| 15 | Difficult high alloy cast iron. Difficult malleable cast iron. Nodular cast iron. | | 1470 | 0,30 |
| Other materials | | | | |
| 16 | Free cutting non-ferrous materials. Aluminium with <16% Si. Brass, Zinc, Magnesium. | | 700 | 0,25 |
| 17 | Non-ferrous materials. Aluminium with >16% Si. Bronze, Cupro-nickel. | | 700 | 0,27 |
| 20 | Nickel-, Cobalt- and Iron-based heat resistant alloys with hardness <30 HRc. Incoloy 800, Inconel 601, 617, 625, Monel 400. | | 2600 | 0,24 |
| 21 | Nickel-, Cobalt- and Iron-based heat resistant alloys with hardness >30 HRc. Incoloy 925, Inconel 718, 750-X, Monel K-500. | | 3300 | 0,24 |
| 22 | Titanium based alloys, Ti6Al-4V. | | 1450 | 0,23 |

* Tabela retirada da Seco Tools AB, 2009

Tabela B.2 - Selecção das pastilhas, avanço por dente, velocidade de corte e avanço por rotação*

| Seco Material group No. | Recom. feed f_z mm/tooth | First choice | Difficult operations |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 0,09-0,16 | SEM X 09T3AFTN-ME06 MP2500 | SEM X 09T3AFTN-M08 T350M |
| 2 | 0,09-0,16 | SEM X 09T3AFTN-ME06 MP2500 | SEM X 09T3AFTN-M08 T350M |
| 3 | 0,09-0,14 | SEM X 09T3AFTN-ME06 MP2500 | SEM X 09T3AFTN-M08 T350M |
| 4 | 0,09-0,14 | SEM X 09T3AFTN-ME06 MP2500 | SEM X 09T3AFTN-M08 T350M |
| 5 | 0,06-0,11 | SEM X 09T3AFTN-M08 MP2500 | SEEX 09T3AFTN-D09 MP1500 |
| 6 | 0,06-0,11 | SEM X 09T3AFTN-M08 MP2500 | SEEX 09T3AFTN-D09 MP1500 |
| 7 | 0,06-0,08 | SEEX 09T3AFTN-D09 MP1500 | SEEX 09T3AFN-M05 MP3000 |
| 8 | 0,09-0,16 | SEEX 09T3AFTN-ME07 MP2500 | SEEX 09T3AFTN-M08 T350M |
| 9 | 0,09-0,14 | SEEX 09T3AFTN-ME07 MP2500 | SEEX 09T3AFTN-M08 T350M |
| 10 | 0,09-0,11 | SEEX 09T3AFTN-M08 T350M | SEEX 09T3AFTN-M08 F40M |
| 11 | 0,07-0,10 | SEEX 09T3AFTN-M08 T350M | SEEX 09T3AFTN-M08 F40M |
| 12 | 0,09-0,14 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK1500 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK3000 |
| 13 | 0,09-0,14 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK1500 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK3000 |
| 14 | 0,06-0,11 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK1500 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK3000 |
| 15 | 0,06-0,11 | SEEX 09T3AFTN-M08 MK3000 | SEEX 09T3AFTN-D09 MP1500 |
| 16 | 0,09-0,16 | SEEX 09T3AFN-E04 H15 | SEEX 09T3AFN-E04 F40M |
| 17 | 0,09-0,16 | SEEX 09T3AFN-E04 H15 | SEEX 09T3AFN-E04 F40M |
| 20 | 0,06-0,08 | SEEX 09T3AFTN-ME07 T350M | SEEX 09T3AFTN-M08 F40M |
| 21 | 0,06-0,08 | SEEX 09T3AFTN-M08 F40M | SEEX 09T3AFN-M05 MP3000 |
| 22 | 0,07-0,10 | SEEX 09T3AFTN-ME07 F40M | SEEX 09T3AFTN-M08 F40M |

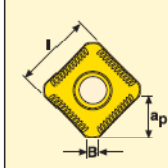
Cutting data

| Seco Material Group No. | Grades | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------|------|------|--------|------|------|------|------|------|--|--|--|
| | MK1500 | | | MK3000 | | | H15 | | | | | |
| | Feed, f_z (mm/tooth) | | | | | | | | | | | |
| | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,10 | 0,16 | | | |
| Cutting speed, v_c (m/min) | | | | | | | | | | | | |
| 1 | - | - | - | 475 | 420 | 370 | - | - | - | | | |
| 2 | - | - | - | 415 | 370 | 325 | - | - | - | | | |
| 3 | - | - | - | 350 | 310 | 270 | - | - | - | | | |
| 4 | - | - | - | 320 | 280 | 245 | - | - | - | | | |
| 5 | - | - | - | 260 | 230 | 200 | - | - | - | | | |
| 6 | - | - | - | 190 | 165 | - | - | - | - | | | |
| 7 | - | - | - | 60 | 55 | - | - | - | - | | | |
| 8 | - | - | - | 295 | 260 | 230 | - | - | - | | | |
| 9 | - | - | - | 255 | 230 | 200 | - | - | - | | | |
| 10 | - | - | - | 220 | 195 | 170 | - | - | - | | | |
| 11 | - | - | - | 170 | 150 | - | - | - | - | | | |
| 12 | 430 | 380 | 335 | 280 | 245 | 215 | 255 | 225 | 200 | | | |
| 13 | 385 | 340 | 300 | 250 | 220 | 195 | 230 | 200 | 175 | | | |
| 14 | 355 | 315 | 275 | 230 | 200 | 180 | 210 | 185 | - | | | |
| 15 | 285 | 255 | - | 185 | 165 | - | - | - | - | | | |
| 16 | - | - | - | 1290 | 1145 | 1005 | 1185 | 1050 | 920 | | | |
| 17 | - | - | - | 1045 | 925 | 810 | 960 | 850 | 745 | | | |
| 20 | - | - | - | 75 | 70 | - | - | - | - | | | |
| 21 | - | - | - | 50 | 40 | - | - | - | - | | | |
| 22 | - | - | - | 75 | 70 | - | - | - | - | | | |

Surface finish

| Type of insert | Feed mm/rev \leq | R_a μ m |
|----------------|--------------------|---------------|
| SEEX09T3.. | 1,5 | 1,0 |

Dimensions in mm



| Insert size l | Max D.O.C. a_p | Wiper flat width B |
|---------------|------------------|--------------------|
| 9 | 4,5 | 1,5 |

* Tabelas retiradas da Seco Tools AB, 2009

Examples of different insert geometries for a specific insert type



Fig B.1 - Exemplos de das diferentes geometrias de pastilhas *

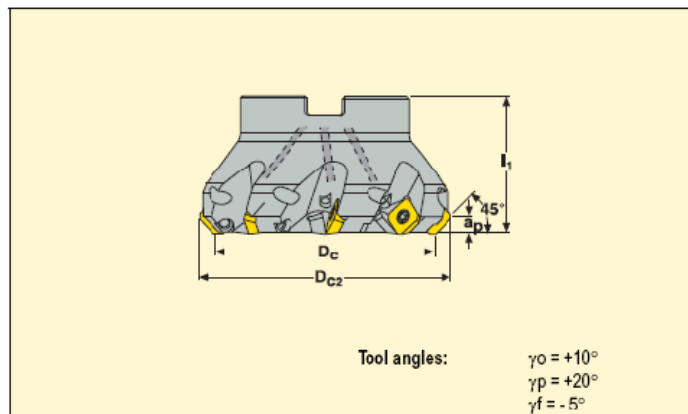


Fig B.2 – Fresa QuattroMill 220.53-09*

* Imagens retiradas da Seco Tools AB, 2009

Tabela B.3 – Características da fresa QuattroMill 220.53-09*








| Pitch | Part No. | Dimensions in mm | | | |  |  |  |  |
|-------|---------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|---|---|---|---|
| | | D _c | D _{c2} | l ₁ | a _p | | | | |
| Close | R220.53 -0040-09-5A | 40 | 50 | 40 | 4,5 | 5 | 0,4 | 17700 | SE..09T3 |
| | -0050-09-6A | 50 | 60 | 40 | 4,5 | 6 | 0,4 | 15800 | SE..09T3 |
| | -0063-09-7A | 63 | 73 | 40 | 4,5 | 7 | 0,6 | 14100 | SE..09T3 |
| | -0080-09-8A | 80 | 90 | 50 | 4,5 | 8 | 1,2 | 12500 | SE..09T3 |
| | -0100-09-10A | 100 | 110 | 50 | 4,5 | 10 | 1,8 | 11200 | SE..09T3 |
| | | | | | | | | | |

Tabela B.4 Classes das pastilhas Seco*

Insert grades



Uncoated grades

| | | |
|---|-----|---|
|  | HX | Wear resistant grade for milling in cast iron and non-ferrous alloys. |
|  | H15 | Hard, wear resistant grade for milling in aluminium. |
|  | H25 | Tough micro-grain carbide grade for milling in superalloys and aluminium. |

* Tabelas retiradas da Seco Tools AB, 2009

Força por unidade de corte k_c

$$k_c = \frac{1 - 0.01\gamma_0}{h_m^{m_c}} k_{c1.1}$$

$k_{c1.1}$ – força de corte para uma avara de 1mm de espessura (N/mm²)
Para ligas de alumínio com %Si menor que 16% $k_{c1.1}=700$ N/mm²

γ_0 – ângulo de ataque
Para a fresa R220.53 -0040-09-5A vale 10°.

m_c – expoente, depende do material.
Para ligas de alumínio com %Si menor que 16% $m_c= 0.25$

h_m – espessura de média de avara (mm)

$$h_m = \frac{360 \times f_z \times a_e}{\pi \times D_c \times \omega_e} \text{ sen } k$$

f_z – avanço por dente (mm/dente)
Para um bom acabamento usa-se normalmente 0.1mm/dente.

a_e – largura de corte.
Vale aproximadamente 45 mm

D_c – diâmetro nominal da fresa
Para a fresa R220.53 -0040-09-5ª vale 63 mm

ω_e – ângulo de corte
Aproximadamente 97°

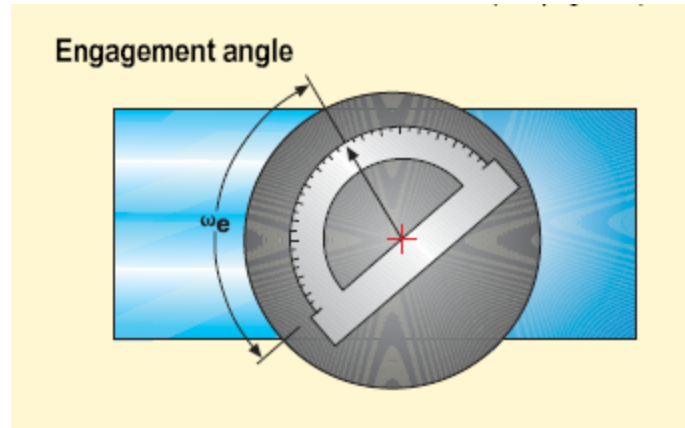


Fig B.3 – ângulo de corte *

K – ângulo de corte principal

Para a fresa R220.53 -0040-09-5A vale 45°

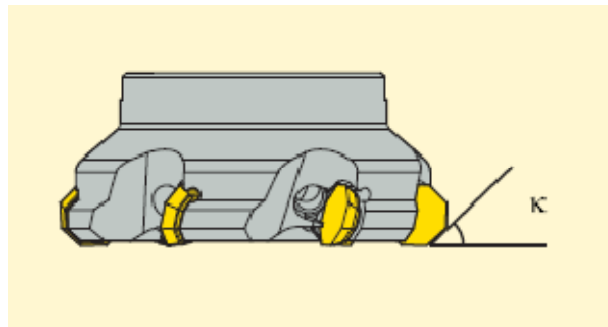


Fig B.4 – ângulo de corte principal *

Cálculo de h_m

$$h_m = \frac{360 \times 0.1 \times 45}{\pi \times 63 \times 97} \times \text{sen}45 = 0.06 \text{ mm}$$

Cálculo de k_c

$$k_c = \frac{1 - 0.01 \times 10}{0.06^{0.25}} \times 700 = 1272.9 \text{ N/mm}$$





* Imagens retiradas da Seco Tools AB, 2009

Velocidades de avanço e rotação segundo a Somex

Tabela B.5 – avanço por rotação, mm/rot *

| Tool | Feed column No. | | | | | | | | |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | f: mm/R | | | | | | | | |
| ∅ 2,00 | 0,020 | 0,025 | 0,032 | 0,040 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 |
| ∅ 2,50 | 0,025 | 0,032 | 0,040 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 |
| ∅ 3,15 | 0,032 | 0,040 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,160 |
| ∅ 4,00 | 0,040 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,200 |
| ∅ 5,00 | 0,040 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 |
| ∅ 6,30 | 0,050 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 |
| ∅ 8,00 | 0,063 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,315 |
| ∅ 10,00 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,400 |
| ∅ 12,50 | 0,080 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 |
| ∅ 16,00 | 0,100 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 | 0,630 |
| ∅ 20,00 | 0,125 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 | 0,630 | 0,630 |
| ∅ 25,00 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 | 0,630 | 0,800 | 0,800 |
| ∅ 31,50 | 0,160 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 | 0,630 | 0,800 | 1,000 |
| ∅ 40,00 | 0,200 | 0,250 | 0,315 | 0,400 | 0,500 | 0,630 | 0,800 | 1,000 | 1,250 |

Tabela B.6 – Velocidades de corte (mm/min) e resistência ao corte (N/mm²) *

| Material da broca | HM – K20 | | HM – K40 | | HM – K20 | | HM – K40 | | | |
|--------------------------------------|---|--|---|----|---|----|---|----|-------|----|
| | m/min | No | m/min | No | m/min | No | m/min | No | | |
| Revestimento TiN | | | | | TiN | | TiN | | | |
| Norma DIN | 6539 | | 6539 | | 6539 | | 6537 | | | |
| |  | |  | |  | |  | | | |
| Material | Exemplos (segundo norma DIN EN 10027) | Resistência ao corte N/mm ² | m/min | No | m/min | No | m/min | No | m/min | No |
| Ligas de alumínio injectado < 10% Si | 3.2153 G-AlSi7Cu3 3.2573 G-AlSi9 | ≤ 600 | 150 | 5 | 160 | 7 | 170 | 8 | 200 | 8 |

* Tabelas retiradas de Somex Inc, 2001

ANEXO C.

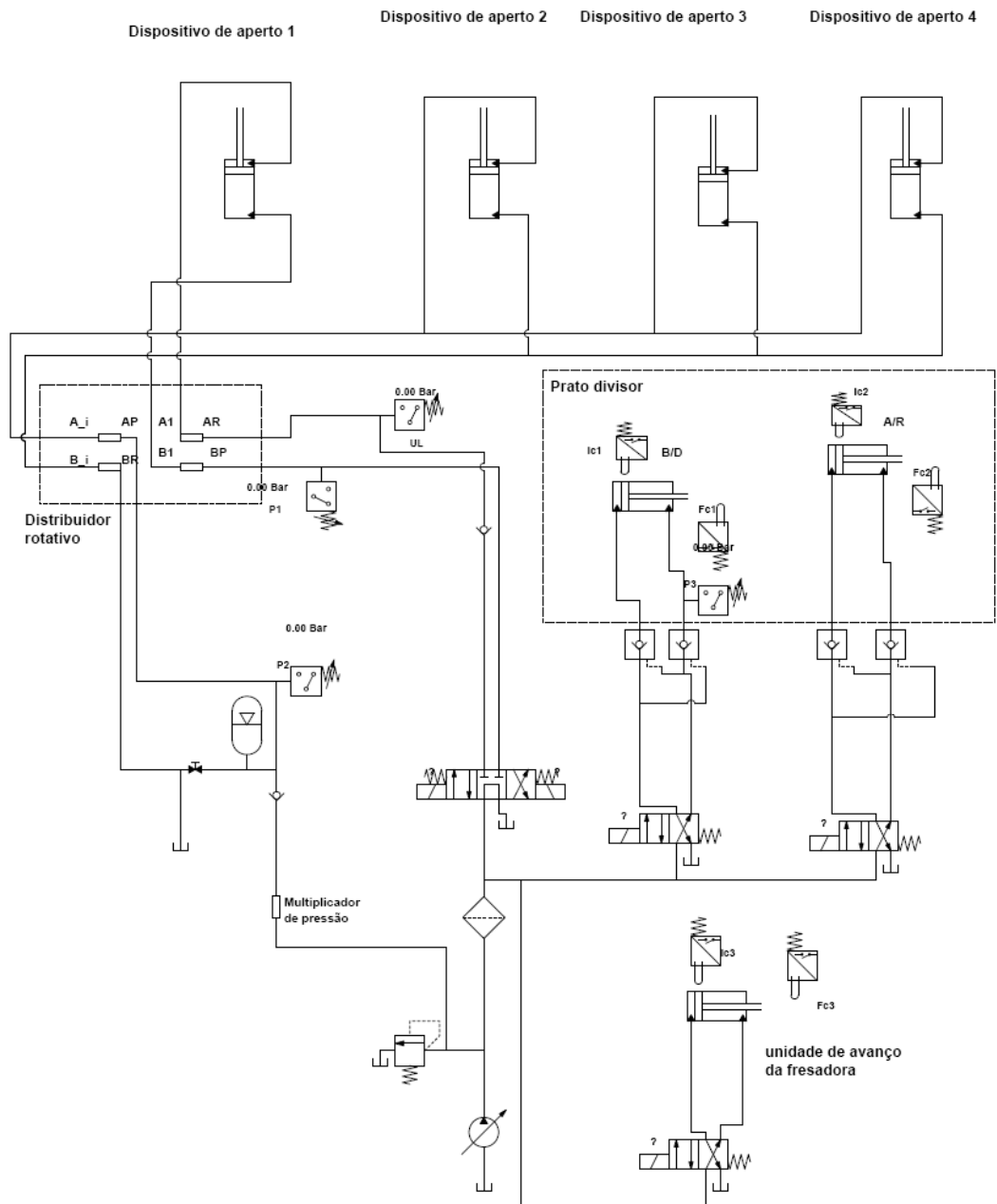


Fig C.1 – Esquema hidráulico.

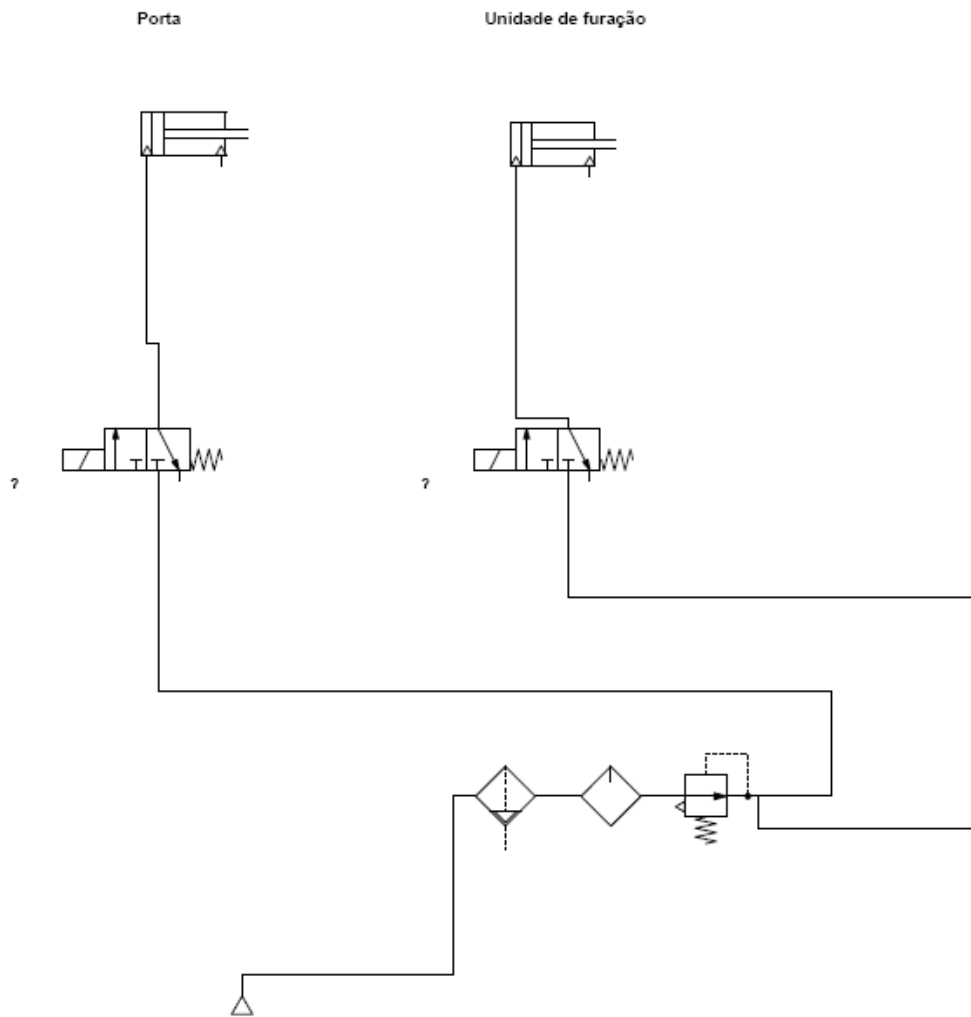


Fig C.2 – Esquema pneumático.