

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

31100106842



DEDALUS - Acervo - EESC

Princípios de Processos de Produção

Volume II

Marino de Oliveira Resende

fco - eesc - usp - 1993

LA

3

São Carlos, abril de 2005
reimpressão
Código 03077

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Princípios de Processos de Produção

Volume II

Marino de Oliveira Resende

São Carlos, abril de 2005
reimpressão

S U M Á R I O

	PÁG.
1. CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Principais Processos de Fabricação	5
1.2.1. Processos com Remoção de Material	6
1.2.2. Processos sem Remoção de Material	6
2. PROCESSOS MECÂNICOS DE USINAGEM	8
2.1. O Processo de Torneamento	10
2.1.1. Torno Paralelo	11
2.1.2. Torno Revolver	30
2.1.3. Torno Semi-Automático de Ferramentas Múltiplas.	39
2.1.4. Torno Automático	43
2.1.5. Torno Copiador	51
2.1.6. Torno de Perfilar (Detalonador)	57
2.1.7. Torno Frontal (Platô)	58
2.1.8. Torno Vertical	59
2.1.9. Ferramentas para Tornear	65
2.1.9.1. Geometria da ponta de corte de fer-	
ramenta	68
2.1.9.2. Seleção do material da ferramenta	72
2.1.10. Definição da Potência da Máquina e Tempo de	
Produção	92
2.2. Processo de Furação e Rebaixamento	95
2.2.1. Classificação	95
2.2.1.1. Furadeira portátil	97
2.2.1.2. Furadeira de alavanca	97
2.2.1.3. Furadeira com montante e avanço auto-	
mático	105
2.2.1.4. Furadeira radial	108
2.2.1.5. Furadeira revólver	111
2.2.1.6. Furadeira com vários cabeçotes	113
2.2.1.7. Sistemas especiais de furação	114
2.2.1.8. Furadeira para furos profundos	116

APRESENTAÇÃO

O presente texto aborda os principais processos de fabricação de peças envolvendo tecnologia mecânica, com o objetivo de subsidiar os cursos de Processos de Produção da habilitação de Engenharia de Produção Mecânica da EESC-USP.

Mesmo sendo abrangente, o tratamento desenvolvido permanece a nível introdutório, exigindo, portanto, leitura extensiva adicional, acompanhada de estudos de caso, assim como trabalhos práticos.

A natureza do texto exigiu a utilização de obras de vários autores constantes na bibliografia que serve, também, como guia para as necessárias leituras complementares.

2.2.2.	Ferramentas para Furar	118
2.2.3.	Fixação da Broca na Furadeira	127
2.2.4.	Força e Potência na Furação com Broca Heli- coidal	128
2.3.	Processo de Madrilamento	133
2.3.1.	Madriladoras	134
2.3.1.1.	Mandriladora horizontal de mesa	134
2.3.1.2.	Mandriladora horizontal de montante móvel	142
2.3.1.3.	Mandriladora múltipla	143
2.3.2.	Ferramentas para Mandrilar	148
2.4.	Processo de Alargamento	151
2.4.1.	Alargadores de Desbaste (Brocas de Correção) ..	152
2.4.2.	Alargadores de Acabamento	156
2.4.3.	Velocidades de Corte para Alargamento	166
2.4.4.	Os Processos para Obtenção de Furos de Precisão	166

1. CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

1.1. Introdução

Um produto industrial, seja êle um conjunto mecânico ou não, é fruto de uma série de transformações com a finalidade de modificar a estrutura ou a forma da matéria-prima empregada na sua produção, a fim de que possa cumprir determinadas funções. Assimilando uma fábrica a uma máquina complexa, compreende-se que um equipamento, um meio de transporte interno e outros recursos utilizados, serão como que engrenagens que devem funcionar no momento certo e de modo adequado ao previsto. Compreende-se, imediatamente, como não é absolutamente suficiente que uma máquina isolada funcione bem; é indispensável que a mesma seja eficiente.

O primeiro passo que se cumpre na indústria com este objetivo é o projeto do produto que deve estabelecer as características e a qualidade do produto. Entretanto, para que tenha boa aceitação pelo consumidor, não é suficiente que tenha um bom projeto de dimensionamento, com suas respectivas verificações de esforços, desgastes, vidas úteis etc.. Dentro do ciclo de produção desse produto, a fase de projeto e dimensionamento é apenas uma das muitas que deverão ser cumpridas até que o produto seja colocado no mercado.

O diagrama funcional mostrado a seguir, representa, com bastante aproximação, a organização da grande maioria das indústrias fabricantes de peças e máquinas, mostrando as interrelações entre os diversos setores que a compõem.

Observa-se que alguns setores ou departamentos desempenham papéis fundamentais. Vejamos:

• MARKETING E VENDAS

Marketing é o órgão da indústria que sente as necessidades do consumidor, suas preferências e procura medir a

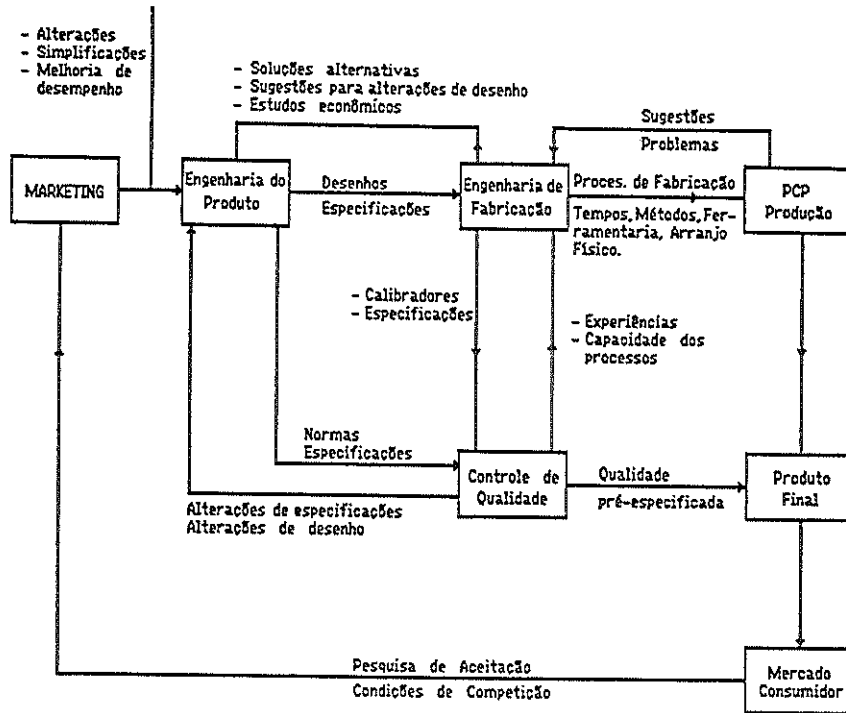


Figura 1 - Diagrama esquemático da organização de uma fábrica.

aceitação de um produto e as condições de competição da empresa no mercado para subsidiar a decisão de se fabricar um produto ou não.

● **ENGENHARIA DO PRODUTO OU PROJETO**

A partir das informações de funcionamento, desempenho, vida útil etc., a Engenharia do Produto deve:

- a) definir dimensões, tolerâncias, acabamentos superficiais, tratamento térmico ou químico, recobrimentos superficiais etc.;
- b) testar os protótipos a fim de verificar sua funcionalidade e qualidade.

● **ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

Este setor aglutina diversas atribuições, tais como:

- a) processos de fabricação: definição da seqüência tecnológica de operações para obtenção de uma peça ou produto;

- b) projeto e dimensionamento de ferramental - dispositivo de fixação, dispositivos de medição, calibradores, ferramental de corte etc.;
- c) estudo de tempos e métodos;
- d) ferramentaria e afiação de ferramentas;
- e) controle de estoque de ferramental.

A figura 2, a seguir ilustra as atribuições da Engenharia de Fabricação.

• PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O PCP utilizando informações recebidas de outras áreas, determina o que vai ser produzido, quanto vai ser produzido, como vai ser produzido, onde vai ser produzido, quem vai produzir e quando vai ser produzido, gerindo um sistema de informações, a fim de instruir a fábrica do que deve ser feito.

• PRODUÇÃO

A este departamento cabe a função de produzir as quantidades programadas dentro do prazo definido, dispondo de máquinas e mão-de-obra para este fim.

• CONTROLE DE QUALIDADE

Este departamento, segundo uma filosofia mais tradicional, tem a função de fazer cumprir as exigências dimensionais, metalúrgicas e especificações técnicas contidas no desenho. Este controle de qualidade que enfatiza a inspeção está mudando para outro desenvolvido no Japão em que:

- 1 - a qualidade deve ser incorporada a cada projeto e processo;
- 2 - a noção básica a ser considerada dentro do controle é a prevenção contra a reincidência;
- 3 - remover as causas básicas, e não os sintomas;
- 4 - a verdadeira essência do CQ é a efetividade do controle e a garantia da qualidade no desenvolvimento de novos produtos.

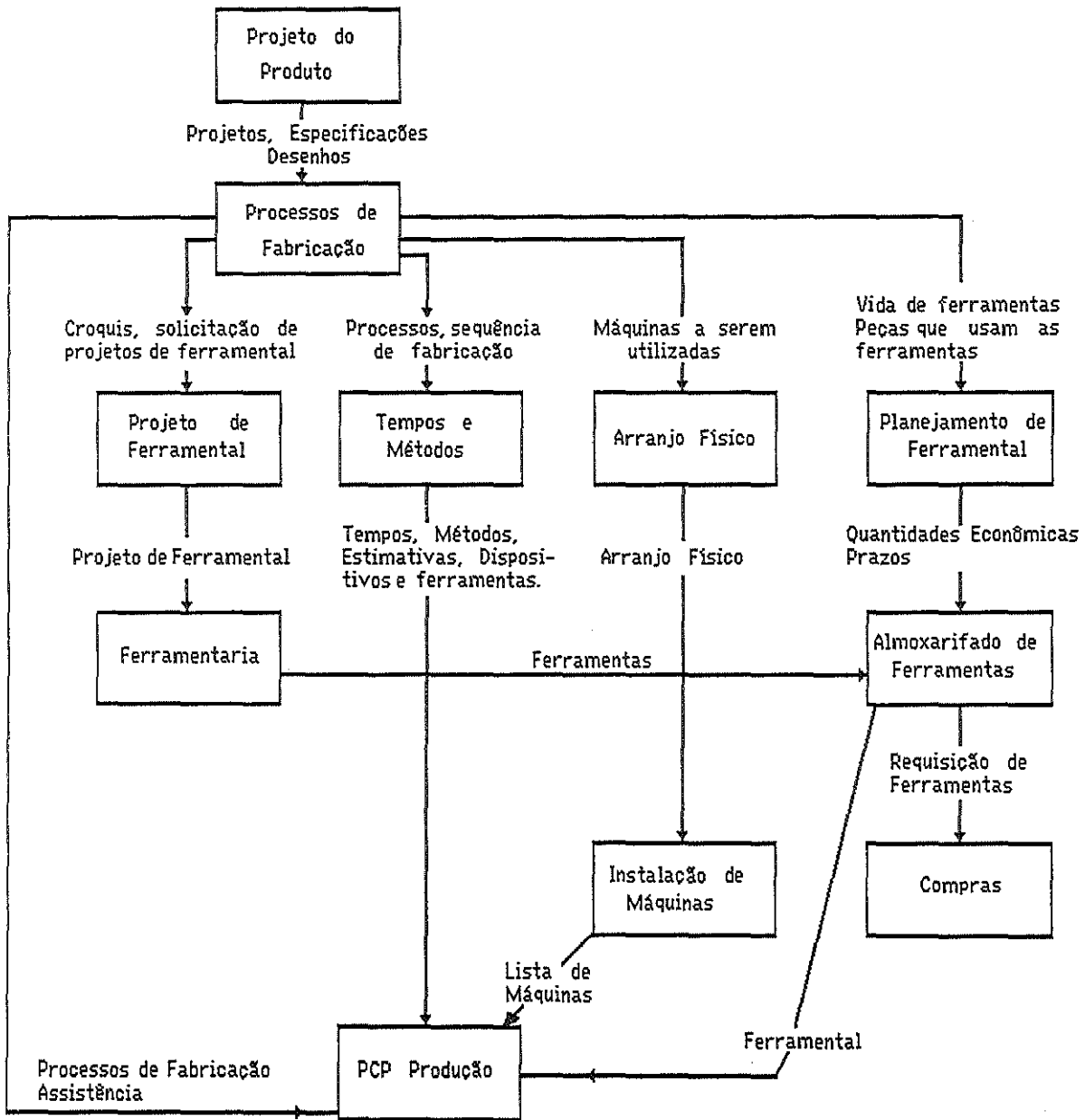


Figura 2 - Atribuições de Engenharia de Fabricação.

Pode-se dizer, em resumo que o "CQ é um sistema ou estrutura para produzir de forma econômica produtos ou serviços compatíveis com a exigência do usuário ou consumidor. Denomina-se, também, Controle Estatístico de Qualidade, pelo fato de incorporar também técnicas estatísticas" (JIS).

1.2. Principais Processos de Fabricação

As máquinas se compõem de muitas peças, como se pode ver no exemplo de um simples redutor de rotação mostrado a seguir.

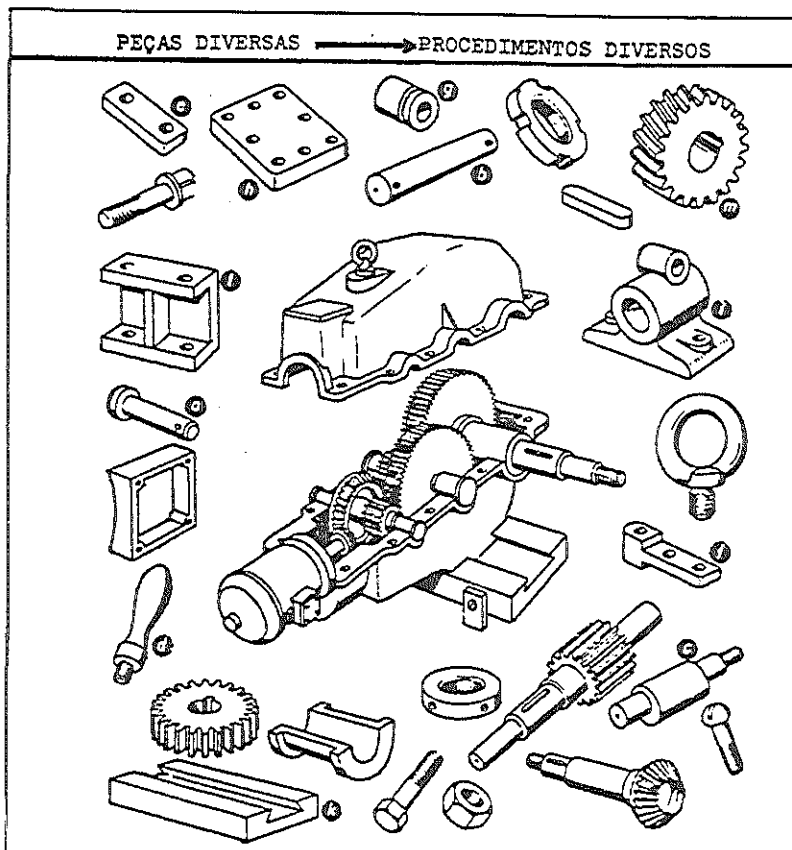


Figura 3 - Um redutor e seus componentes.

- a) pino encabeçado, b) pino, c) eixo excêntrico, d) cabo, e) elo, f) terminal, g) luva, h) tampa, i) suporte, j) base, k) suporte, l) engrenagem, n) eixo, o) eixo pinhão.

Estas peças obtêm suas formas finais mediante a aplicação de um ou mais processos; por exemplo, a carcaça do redutor passa por um processo de pré-formação (fundição) e a seguir por vários processos de usinagem (fresamento, furação, mandrilamento, etc.).

Os principais procesos tecnológicos para a produção de peças brutas ou acabadas podem ser divididos em dois grupos:

- 1 - Processos com remoção de material;
- 2 - Processos sem remoção de material, como ilustrado na figura 4.

1.2.1. Processos com Remoção de Material

Classificam-se segundo duas modalidades:

- A - Processos Mecânicos de Usinagem, onde se incluem: torneamento, furação e correlatos, alargamento, madrilamento, fresamento, serramento, brochamento, aplainamento, roscamento, denteamento, retificação, brunimento e outros.
- B - Processos não Convencionais de Usinagem, onde se incluem: usinagem por descarga elétrica (eletroerosão), feixe de eletrons, laser, arco plasmático, jato abrasivo, usinagem eletroquímica, fresamento químico e outros.

1.2.2. Processos sem Remoção de Material

Classificam-se segundo diversas modalidades:

- A - Fundição.
- B - Metalurgia do Pó.
- C - Processos de Conformação Mecânica: Laminação, Estiramento a Frio, Extrusão de Metais; Forjamento, Estampagem e outros.
- D - Soldagem.
- E - Moldagem de Plásticos.

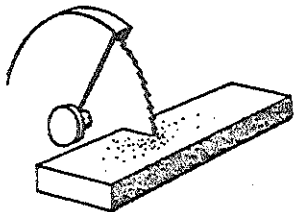
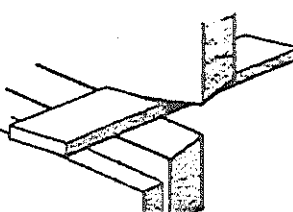
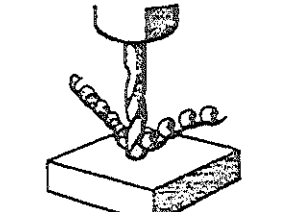
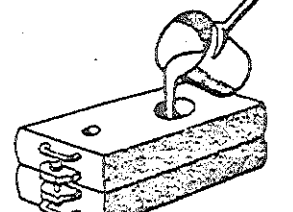
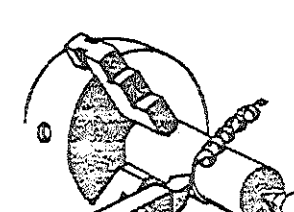
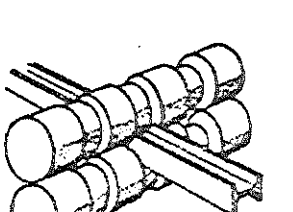
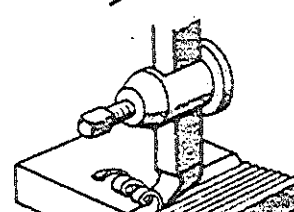
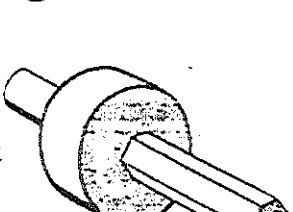
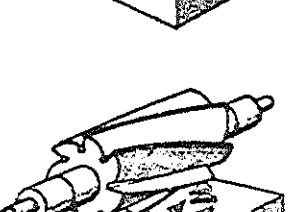
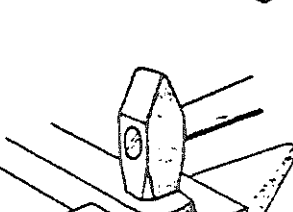
COM ARRANCAMENTO DE CAVACO			SEM ARRANCAMENTO DE CAVACO
	SERRAR	CORTAR	
	FURAR	FUNDIR	
	TORNEAR	LAMINAR	
	PLAINAR	TREFILAR	
	FRESAR	FORJAR	

Figura 4 - As duas categorias de processos de fabricação.

2. PROCESSOS MECÂNICOS DE USINAGEM

A conveniência da escolha de um processo de fabricação está relacionada com a forma de peça a ser trabalhada, com a qualidade do material, com a conformação da superfície etc., o que determina a utilização de máquinas que combinem movimentos apropriados para a peça e a ferramenta. A seguir, apresentam-se uma figura dos movimentos primários de máquinas operatrizes e um quadro sinóptico das principais máquinas operatrizes e dos movimentos operacionais e de avanço de ferramenta ou de peças (figura 5).

Para se chegar a forma definitiva de um elemento podem ser necessárias diferentes operações mecânicas a serem processadas em várias máquinas ou centros de usinagem que podem executar mais que uma operação bastante diferentes entre si. A escolha da máquina operatriz que satisfaça às exigências tecnológicas deve ser feita levando em consideração os seguintes fatores:

- a superfície a ser obtida;
- as dimensões do elemento a ser usinado;
- a quantidade de peças a ser produzida, e
- a precisão exigida.

MOVIMENTO	MÁQUINA	Movimento de Trabalho a cargo de:	Moto de avanço a cargo de:
Rotatório Contínuo	Torno paralelo Torno revólver Torno automático Torno hidrocopiador Torno frontal Torno vertical Torno de perfilar	Peça	Ferramenta (monocortante)
	Máq. de furar coluna Máq. de furar radial Máq. de furar múltipla	Ferramenta (broca)	Ferramenta
	Mandriladora	Ferramenta (monocortante)	Ferramenta ou peça
Retilíneo alternado	Limadora	Ferramenta (monocortante)	Peça
	Plaina	Peça	Ferramenta (monocortante)
	Plaina vertical	Ferramenta (monocortante)	Peça
Retilíneo intermitente	Brochadeira	Ferramenta (brocha)	Dentes de incremento progressivo
Rotatório contínuo	Fresadora horizontal Fresadora vertical Fresadora universal	Ferramenta (fresa)	Peça
Rotatório contínuo	Serra de disco	Ferramenta (fresa a disco)	Ferramenta
Retilíneo contínuo	Serra de fita	Ferramenta (serra de fita)	Ferramenta
Rotatório contínuo	Retificadora universal Retificadora sem centros Retificadora vertical Retificadora frontal Retificadora especial	Ferramenta (rebôlo)	Ferramenta e peça
Rotatório alternado	Máquina de abrir roscas (rosqueadeira)	Ferramenta (macho)	Ferramenta
Rotatório contínuo	Denteadora de parafuso (fresa)	Ferramenta (parafuso-fresa)	Peça ou Ferramenta
Retilíneo alternado	Denteadora (sistema Fellows)		
	Denteadora (sistema Maag)	Ferramenta (disco dentado)	Peça
	Denteadora (sistema Bilgram para engrenagens cônicas de dentes retos)	Ferramenta (pente de cremalheira)	Peça
		Ferramenta (monocortante)	Peça

Figura 5 - Quadro sinóptico dos movimentos de trabalho e avanço das principais máquinas operatrizes para usinagem dos metais pela remoção de cavaco.

2.1. Processo de Torneamento

Consiste em perfilar em torno de um eixo um sólido em rotação arrancando material periféricamente. Empregam-se TORNOS que por meio de FERRAMENTAS efetuam a operação. O movimento de rotação do qual resulta a velocidade de corte é feito pela peça e o avanço pela ferramenta.

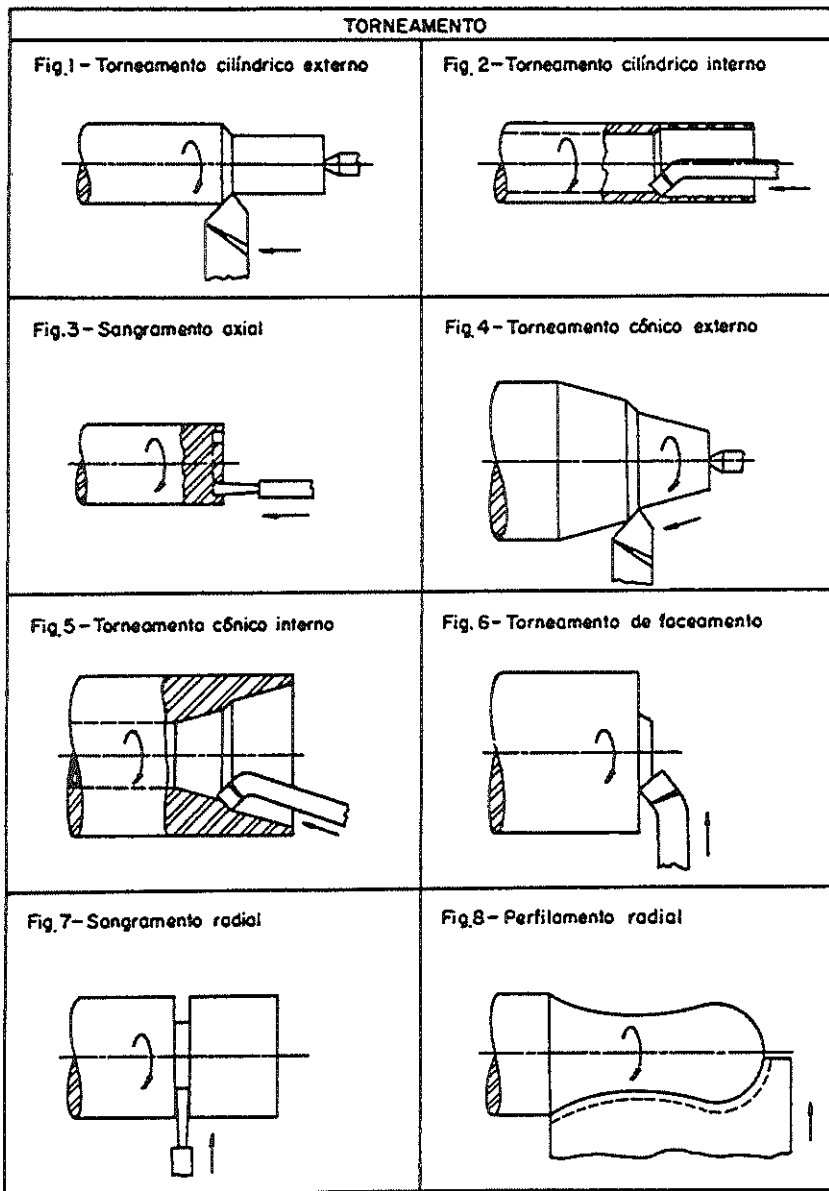


Figura 6 - Exemplos de operações de torneamento.

Como visto no quadro sinóptico a operação de torneiar pode ser feita em vários tipos de máquinas que basicamente são:

- . torno paralelo,
- . torno revolver,
- . torno semi-automático,
- . torno automático,
- . torno copiador,
- . torno de perfilar,
- . torno frontal,
- . torno vertical.

2.1.1. Torno Paralelo

São tornos em que a peça a ser trabalhada gira segundo um eixo horizontal fixada em uma placa, enquanto que a ferramenta, quase sempre monocortante, se fixa na parte móvel de translação longitudinal e transversal (carro). A figura a seguir mostra um torno paralelo.

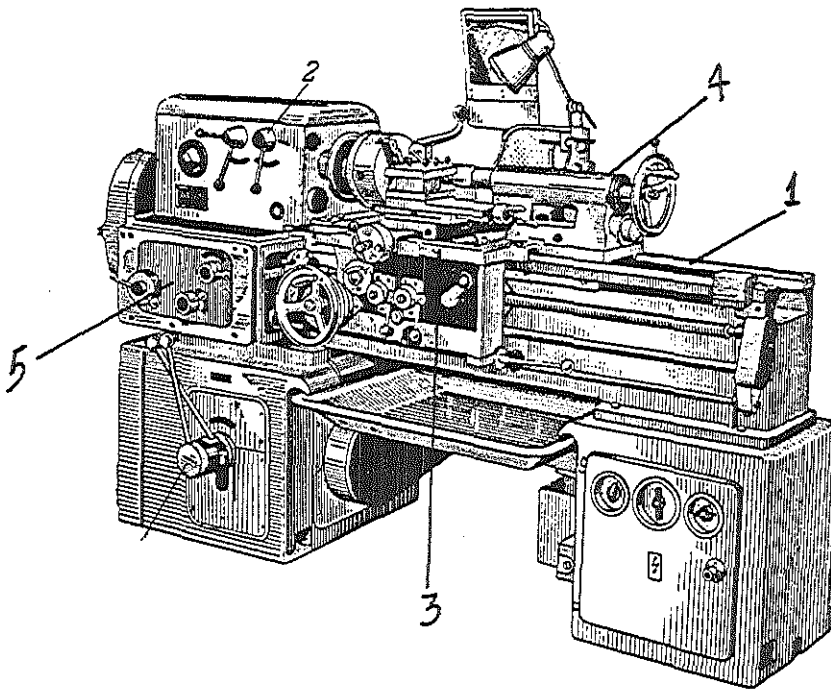


Figura 7 - Torno paralelo.

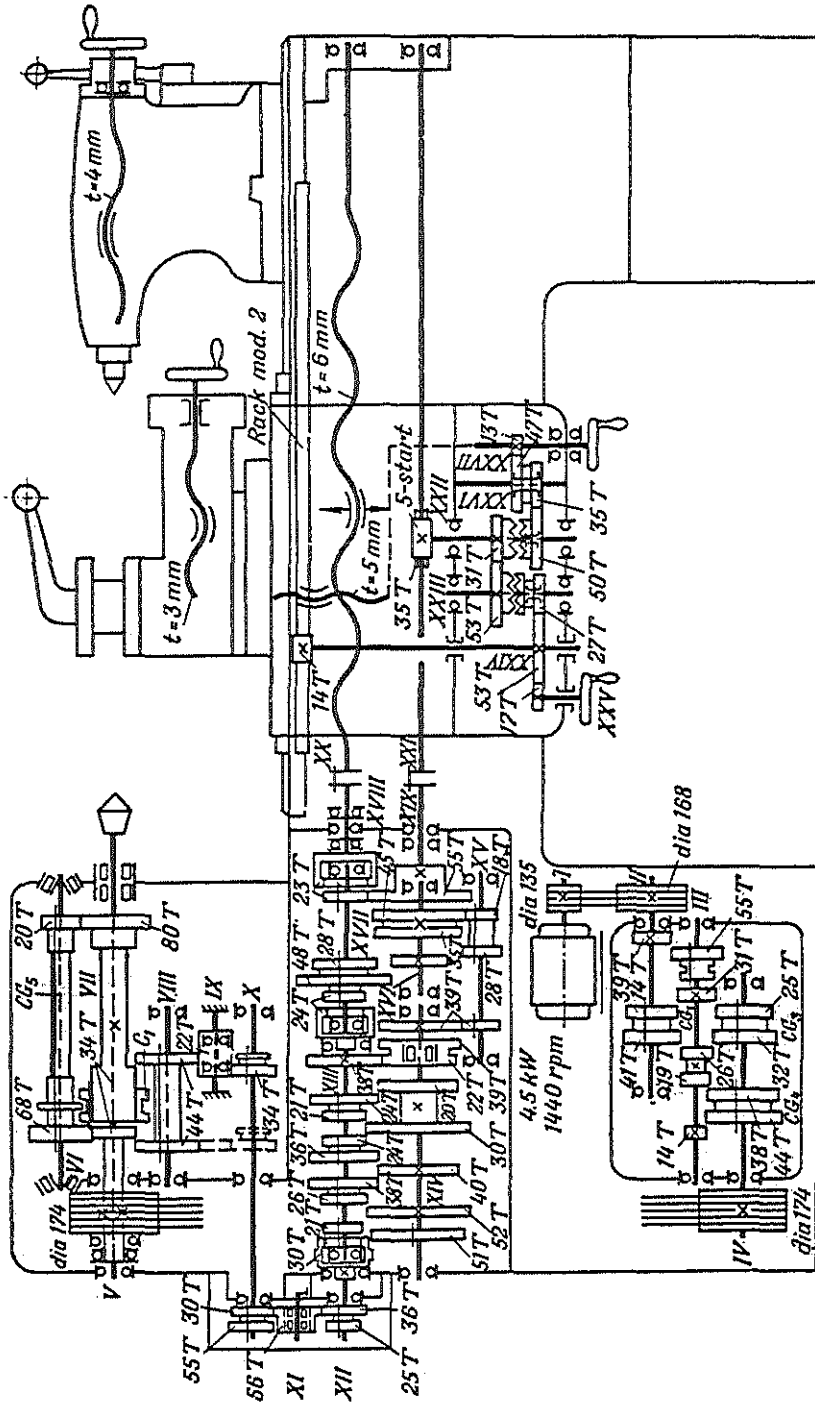


Figura 8 - Cinematismo de um torno paralelo

Estas máquinas operatrizes constituem-se essencialmente das seguintes partes:

- 1 - barramento,
- 2 - cabeçote,
- 3 - carro porta-ferramenta e avental,
- 4 - cabeçote móvel/contra-ponta,
- 5 - caixa de mudanças de avanço,
- 6 - circuito de lubrificação e refrigeração,
- 7 - Acessórios diversos.

• BARRAMENTO

É uma base compacta de ferro fundido que deve ter grande rigidez e estabilidade para permitir altas velocidades de corte e avanços, como é exigido modernamente, sem sofrer vibrações e nem admitir velocidades críticas. Traz em sua parte superior, ao longo de todo comprimento livre, as guias que alinham à esquerda o cabeçote e a direita o cabeçote móvel, ficando o carro porta-ferramenta livre para deslizar sobre as guias entre estas duas partes.

As guias constituem a parte mais delicada do barramento, podendo ser em forma:

- . cauda de andorinha
- . planas
- . trapezoidais ou prismáticos,

sendo o último tipo as mais racionais e utilizadas, porque têm vantagem de impedir os deslocamentos laterais do carro devido ao desgaste e garantir o perfeito alinhamento do cabeçote e a contraponta toda a vez que se desloca o cabeçote móvel sobre as guias. As faces submetidas ao atrito, embora se desgastem, provocam, praticamente, apenas o rebaixamento do carro, não prejudicando a uniformidade do diâmetro em torneamento. Hoje em dia, estas guias são endurecidas por têmpera superficial para aumentar a resistência ao desgaste.

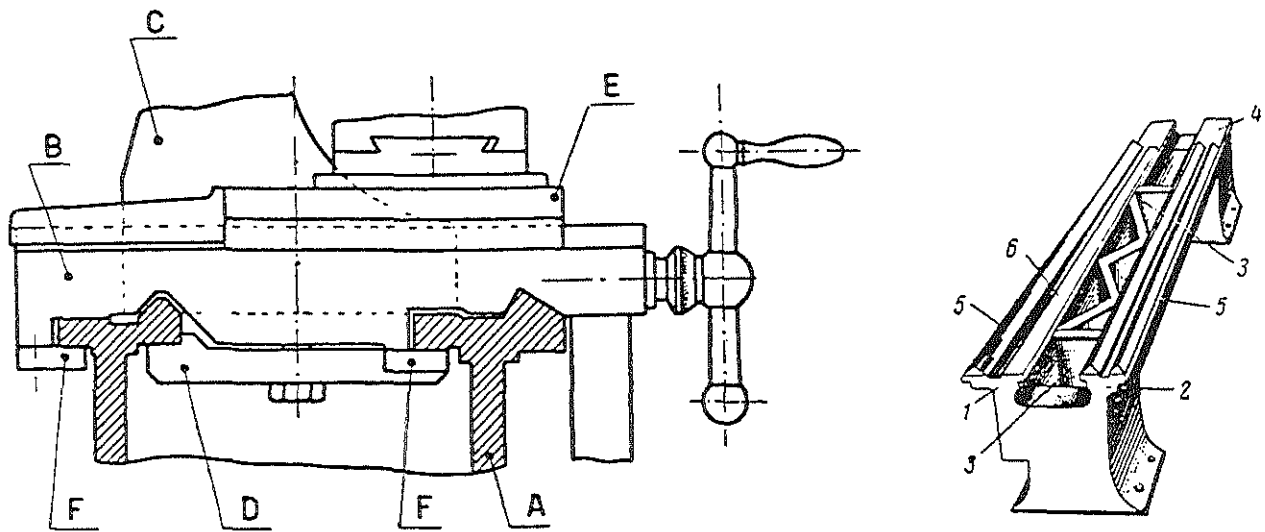


Figura 9 - Barramento de guias prismáticas.

A- Barramento; B- Carro principal; C- Cabeçote móvel; D- Suporte de fixação do cabeçote móvel; E- Carro transversal, F- Guia.

• CABEÇOTE

O cabeçote é a parte do torno que imprime o movimento de rotação à peça. Devido à variedade de materiais da peça e da ferramenta e a diversidade de diâmetros das peças a serem usinadas, resulta a lógica exigência de que o cabeçote permita que a rotação de saída do eixo árvore (eixo no qual é montada a placa que suporta a peça) varie para se obter velocidades periféricas diferentes, a escolher conforme a necessidade. A figura 10 é um exemplo típico.

• CARRO PORTA-FERRAMENTA E AVENTAL

O carro porta ferramenta é a parte do torno que pode movimentar-se longitudinalmente sobre as guias prismáticas do barramento de modo a imprimir o movimento de alimentação (ou avanço) à ferramenta fixada à torre.

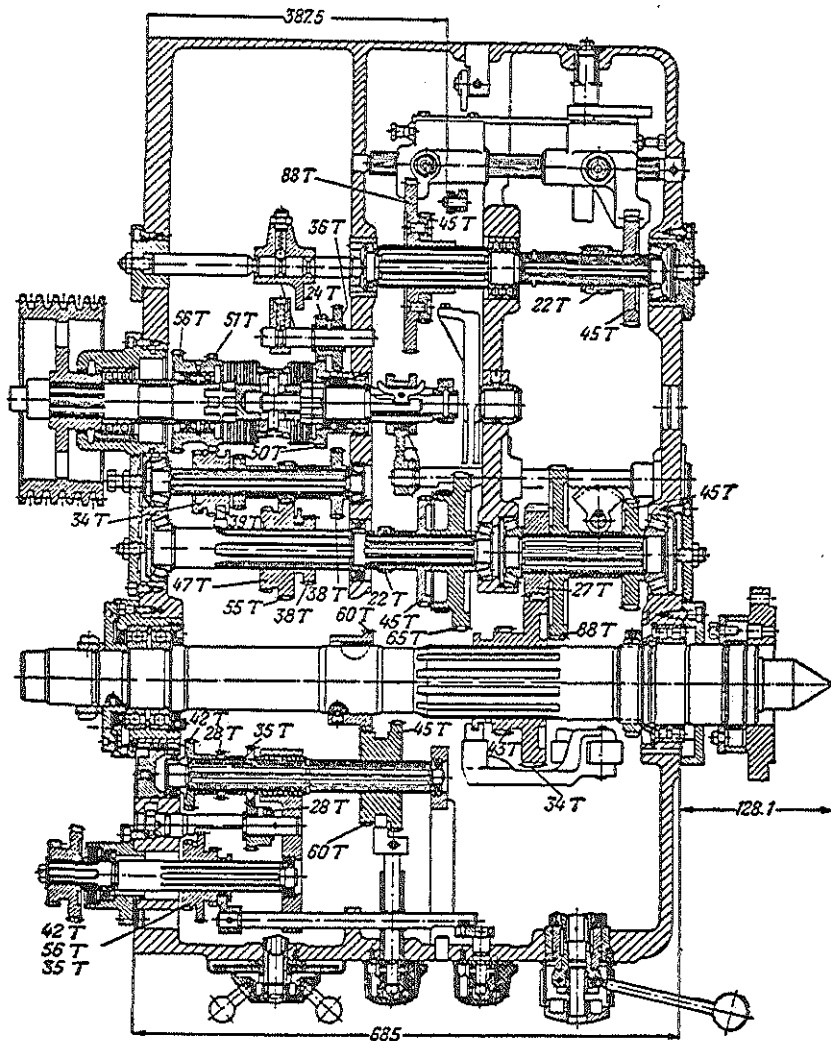


Figura 10 - Cabeçote engrenado.

O carro transversal é colocado sobre o primeiro e pode deslocar-se perpendicularmente ao barramento junto com o carro da torre porta-ferramenta que pode sofrer um giro segundo uma escala graduada colocada na sua base, podendo, estando todo o conjunto do carro porta-ferramenta parado, deslocar-se obliquamente ao barramento através de acionamento manual.

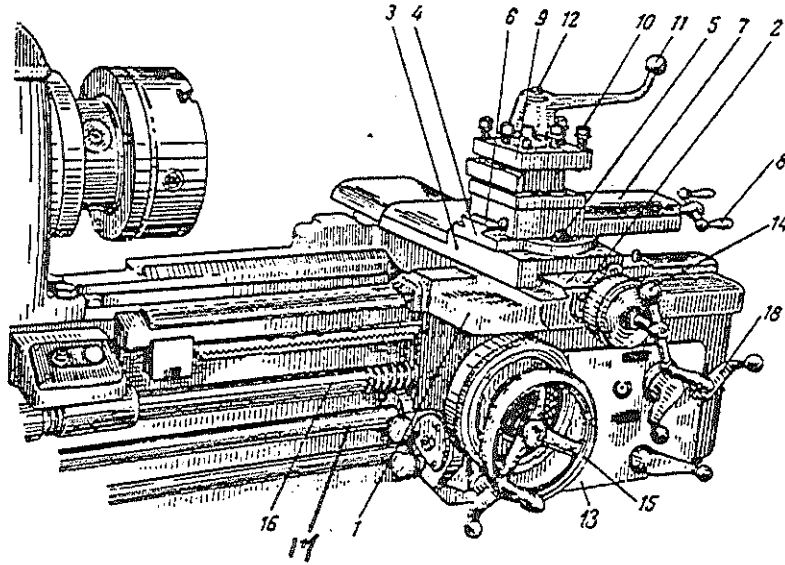


Figura 11 - Carro porta ferramenta.

1 - Carro porta ferramenta; 2 - guia primática do carro transversal; 3 - Carro transversal; 4 - Base giratória; 5 - Porca de aperto; 6 - Guia primática do carro da torre porta ferramenta; 7 - Carro da torre; 8 - Manipulador de avanço do carro 7; 9 - Torre porta ferramenta quadrada; 10 - Parafuso de aperto da ferramenta; 11 - Manipulador de aperto da torre; 12 - Parafuso; 13 - Avental; 14 - Volante para avanço manual transversal; 15 - Volante para avanço manual longitudinal; 16 - Fuso; 17 - Vara de reversão; 18 - Manipulador do engate para corte de rosca.

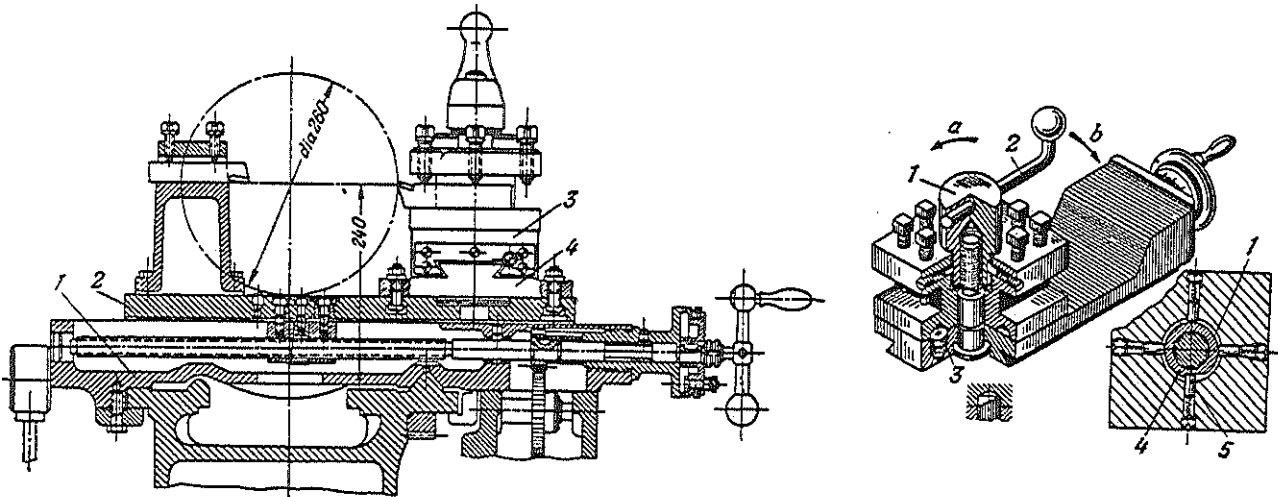


Figura 12 - Corte transversal do carro porte-ferramenta e detalhe da torre porta-ferramenta.

O avental é montado na parte inferior do carro porta-ferramenta e contém os mecanismos de controle dos movimentos de alimentação da ferramenta. As figuras a seguir ilustram uma forma construtiva dos mecanismos do avental e um detalhe do princípio de porca em duas metades para acionamento do carro através do fuso.

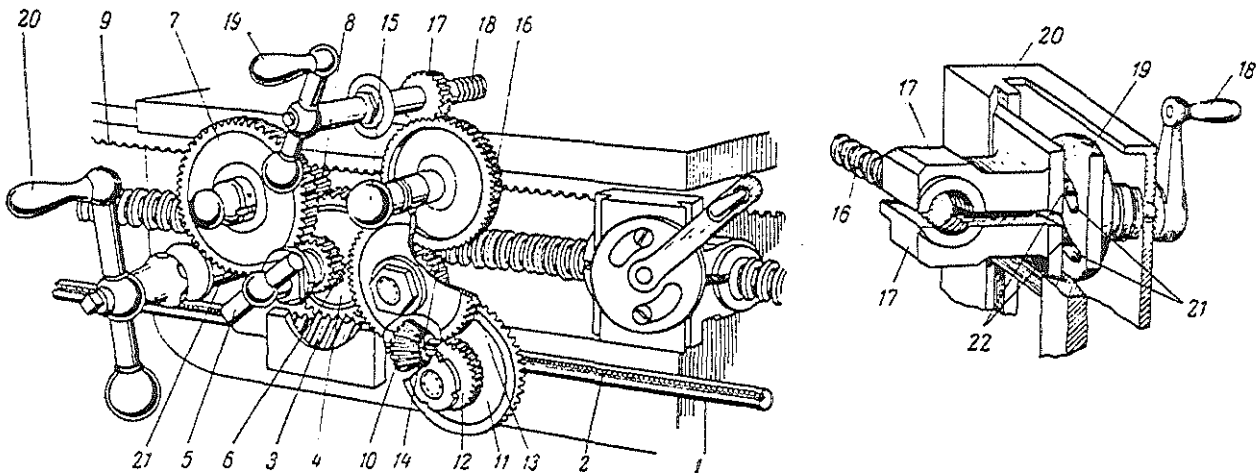


Figura 13 - Mecanismos do avental.

- . Avanço manual longitudinal: através do manipulador 20, aciona-se o pinhão 21 que transmite seu movimento para a engrenagem 7, cujo eixo tem montado o pinhão 8, engrenado com a cremalheira 9 que é solidária ao barramento.
- . Avanço manual transversal: aciona-se o fuso do carro transversal 18, diretamente, através do manipulador 19.
- . Avanço automático longitudinal: montada com chaveta desliscante no canal da vara de reversão 2g encontra-se a rosca sem fim 3, que transmite seu movimento para a coroa 4; puxando o engate 5 acopla-se o pinhão 6 com a engrenagem 7, acionando-se assim o pinhão 8, engrenado com a cremalheira 9.
- . Avanço automático transversal: o pinhão cônico 10, chavetado e desliscante sobre a vara de reversão 2, está engrenado com a coroa 11, promovendo a seguinte cadeia cinemática: 12 x 13, 14 x 16 (acionado pelo engate 15) e 16 x 17, movendo-se o fuso 18.

Geralmente, os tornos paralelos têm mecanismos que impedem o engate simultâneo dos avanços automáticos longitudinal e transversal, impedindo-se algum engate ou através de construções em que se engata ou uma ou outra opção como mostra a figura abaixo.

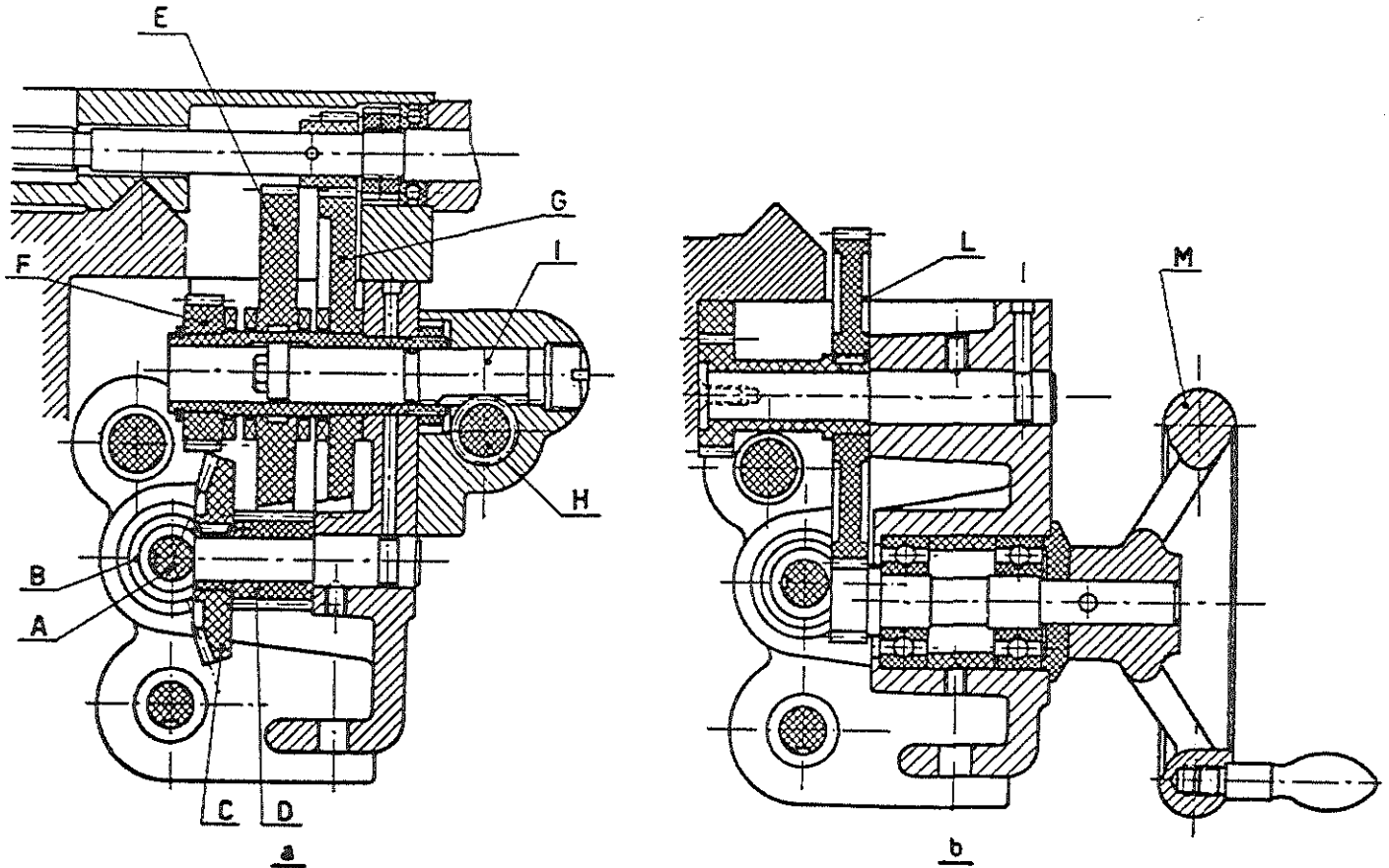


Figura 14 - Cinematismos de um avental.

- a) Comandos para avanços automáticos
- b) Comando para avanço manual

O acoplamento E acionado para a direita movimentando o carro transversal e acionado para a esquerda movimentando todo o carro longitudinalmente, sendo, portanto, excludentes os avanços transversais e longitudinais.

. Avanço automático para usinagem de roscas - neste caso, o fuso 16 em movimento, é acoplado com a porca em duas metades 17, quando fechada pelo manipulador 18. (2a. figura).

• CABEÇOTE MÓVEL (CONTRA PONTA)

O cabeçote móvel tem a função principal de sustentar as peças em rotação por uma das extremidades. Pode ser deslocada ao longo do barramento e fixada na posição mais conveniente, conforme a peça a ser usinada.

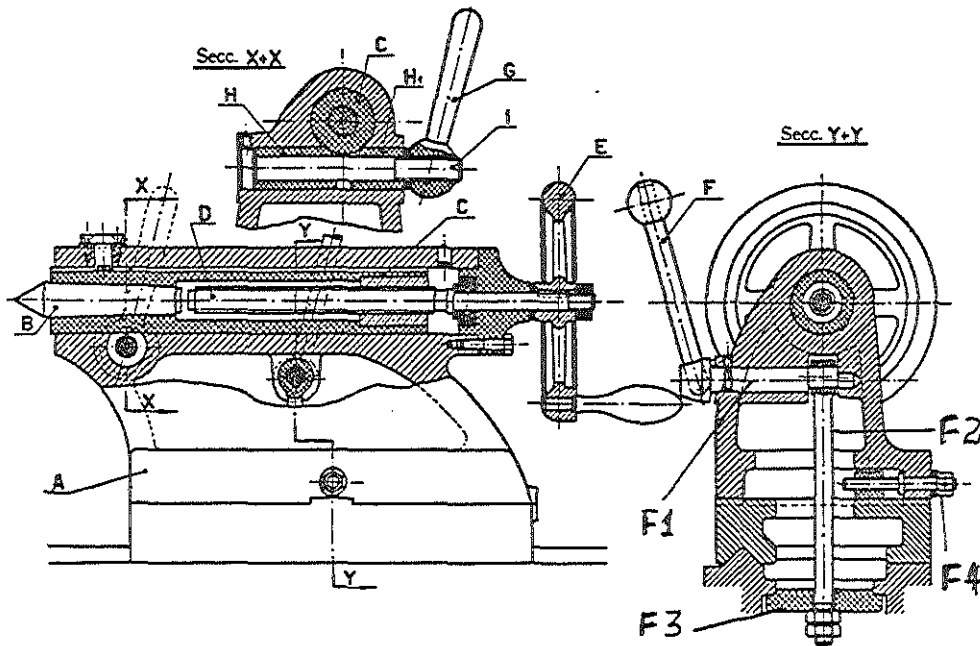


Figura 15 - Cabeçote móvel.

- . Travamento do cabeçote móvel no barramento: manipulando a alavanca F, aciona-se o eixo excêntrico F1, que, conseqüentemente, puxa o tirante F2, comprimindo a placa F3 contra o barramento.
- . Travamento do Mangote: durante a usinagem o mangote C tem que ser imobilizado; isto é feito manipulando a alavanca G sobre o parafuso I, fazendo com que as buchas H e H1 se comprimam contra o mangote (ver detalhe seção X.X.).
- . Deslocamento transversal da contra ponta: o parafuso F4, montado com uma porca solidária a base do cabeçote, pode mover

transversalmente a parte superior em um pequeno curso para obter-se excentricidade ou perfeito alinhamento da contra-ponta com o cabeçote do torno.

A seguir, apresenta-se um cabeçote móvel pneumático com contra-ponta rotativa **M**.

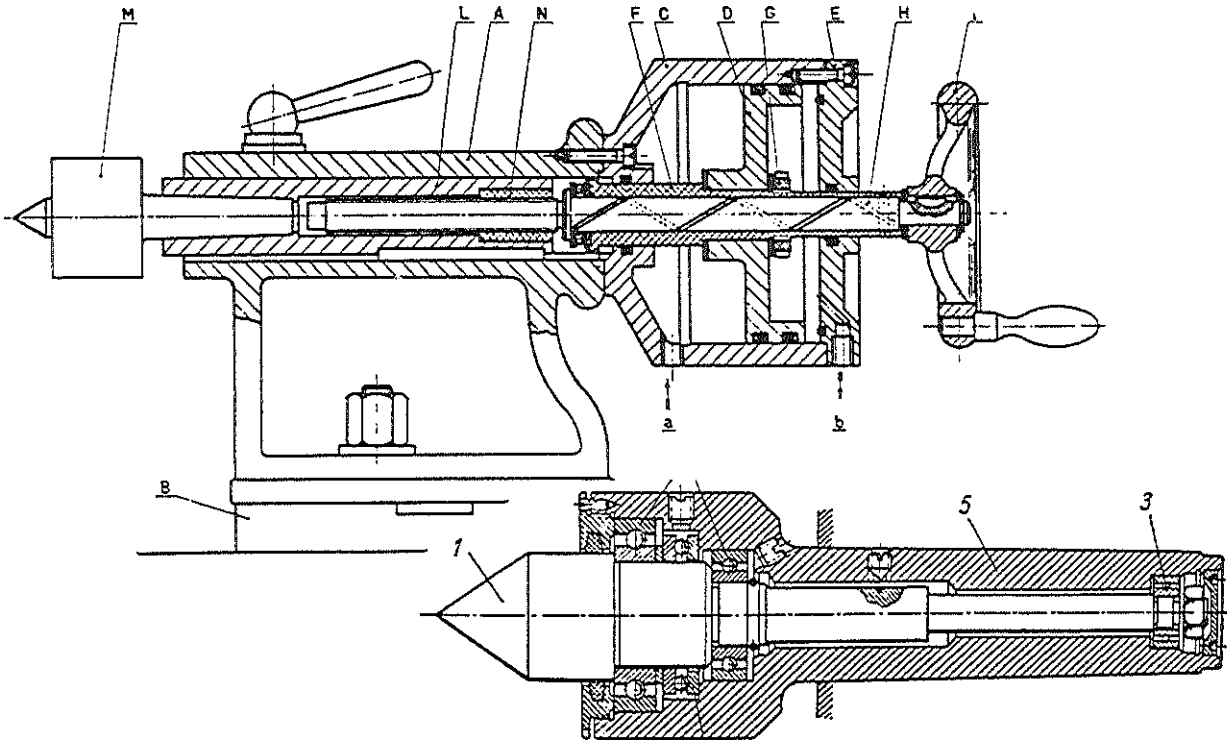


Figura 16 - Cabeçote móvel pneumático.

• CAIXA DE MUDANÇAS DE AVANÇO

Os mecanismos de mudança de avanço do carro-porta-ferramenta situam-se do lado esquerdo do torno, abaixo do cabeçote. A figura a seguir mostra a cadeia cinemática desta parte e sua interligação com o cabeçote através de engrenagens recambiáveis que se situam externamente e atrás do cabeçote.

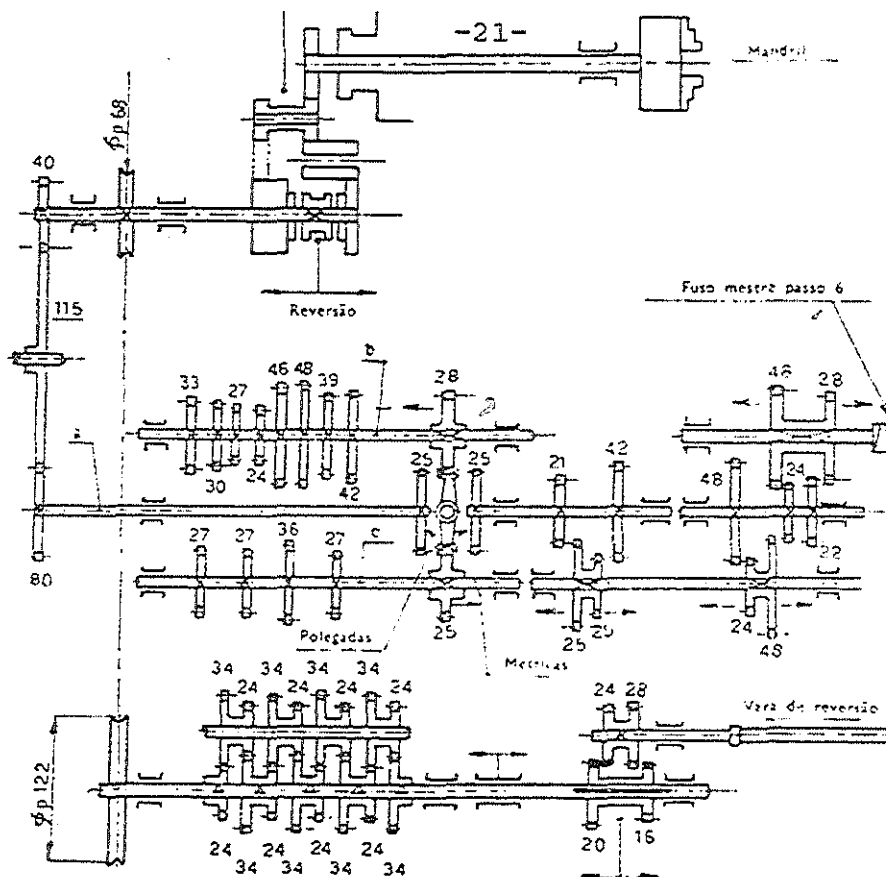


Figura 17 - Esquema da cadeia cinemática para o comando do fuso e da vara de reversão de um torno paralelo.

A figura seguinte mostra uma caixa de mudança de avanço de um torno moderno construída para possibilitar 119 passos métricos, 61 passos em módulos, 54 passos withworth, 56 passos Diametral Pitch, totalizando 290 combinações, conseguidos simplesmente manobrando alavancas externas.

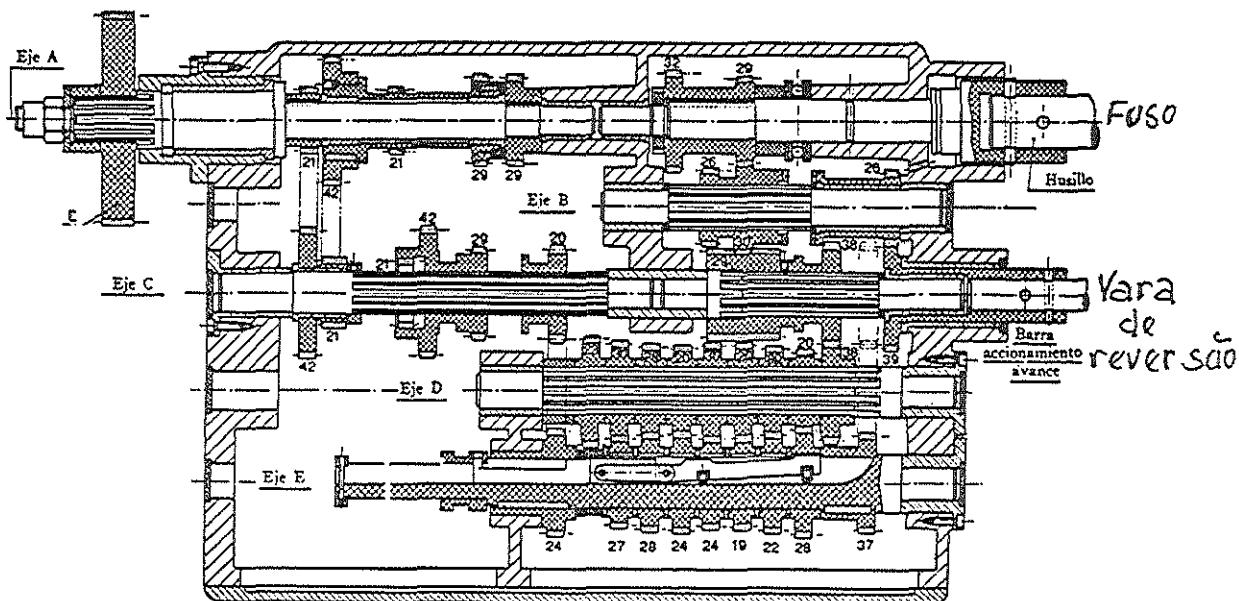


Figura 18 - Caixa de mudança de avanço de um torno paralelo.

● CIRCUITOS DE LUBRIFICAÇÃO REFRIFERAÇÃO

São constituídos essencialmente de uma eletrobomba que aspira o fluido de um reservatório e o impele, através de uma tubulação, até a ferramenta em ação sobre o material. O fluido retorna ao tanque, passando através de um filtro, funcionando em circuito fechado.

● ACESSÓRIOS PARA O TORNO PARALELO

. Placa Autocentrante ou Universal

Possui três castanhas que se movem radialmente e simultaneamente, possibilitando o alinhamento do eixo da peça com o eixo-árvore.

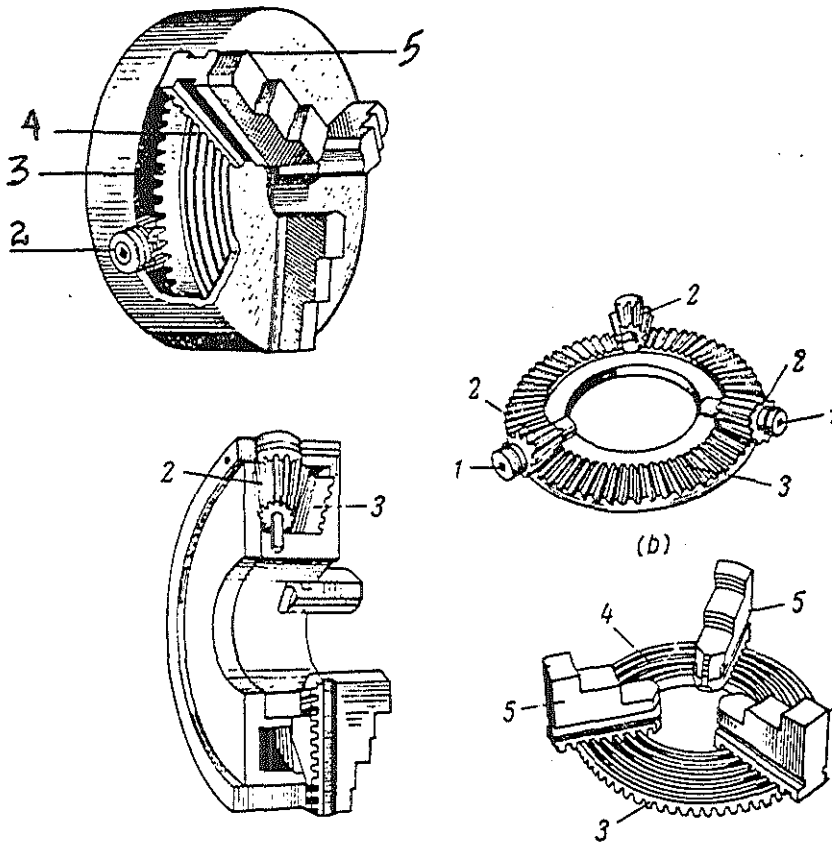
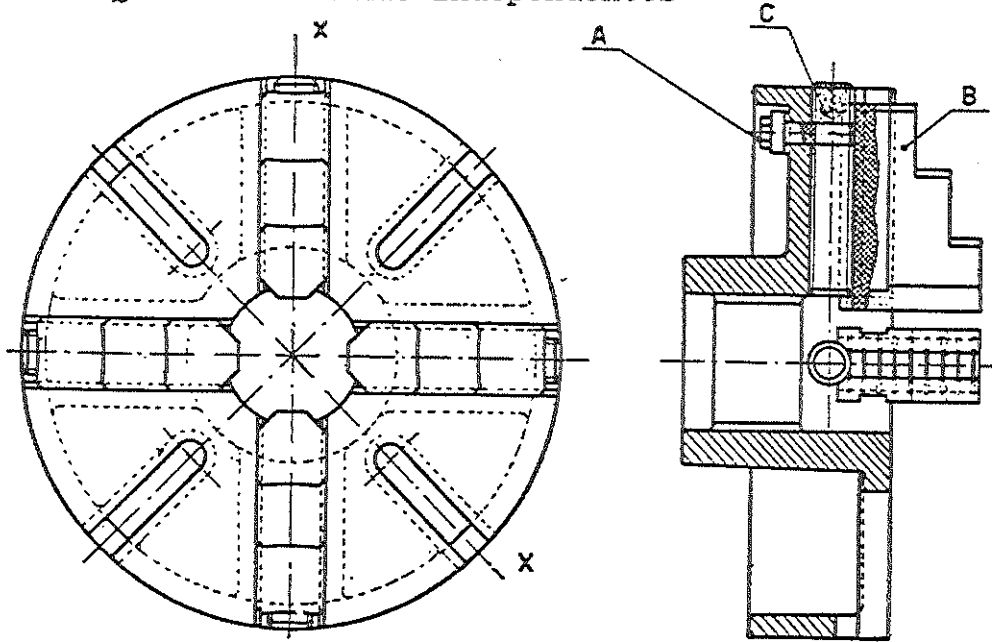


Figura 19 - Placa autocentrante.

. Placa de Quatro Castanhas Independentes



Secc. X-X

Figura 20 - Placa de quatro castanhas independentes.

A - Prato, B - Castanhas, C - Parafuso.

. Placa Autocentrante Pneumática

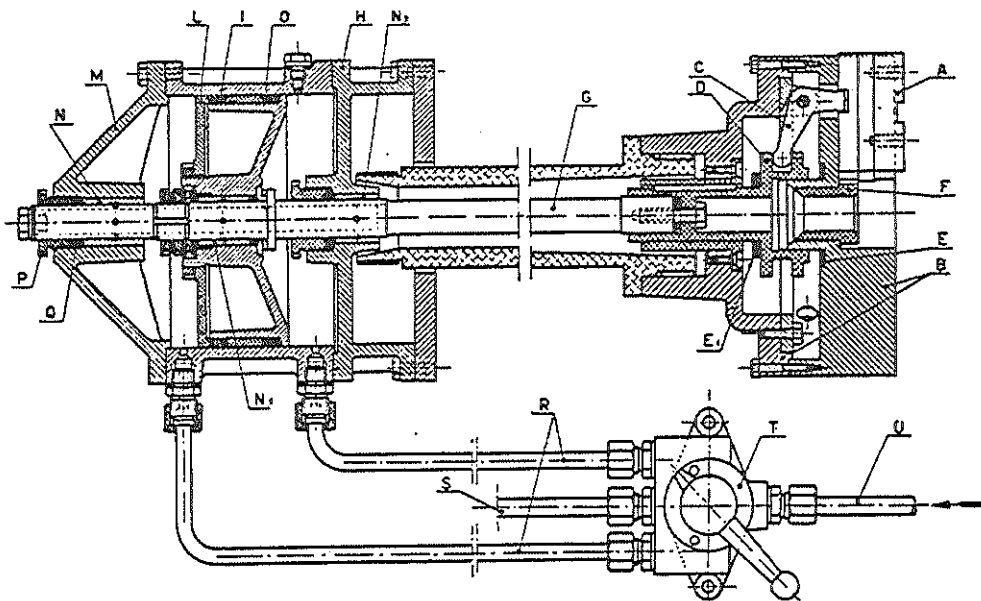


Figura 21 - Placa autocentrante pneumática.

A - Castanhas, B - Corpo, C - Alavanca, D - Colar de comando das alavancas, G - Haste, H - Suporte, I - Cilindro, L - Pistão, M - Tampa, N - Tubos de admissão de ar, N₁ - Tubo de descarga, P - Válvula de comando, R - Tubo ligado ao ar comprimido, S - Válvula de comando, T - Válvula de comando, U - Tubo ligado ao ar comprimido.

Para fechar a placa, o ar comprimido entra do lado direito do pistão L, fazendo com que ele se desloque para a esquerda levando, conseqüentemente a haste G que tem solidário o calor D acoplado com a alavanca articulada C que, sofrendo rotação, desloca as castanhas A radiamente em direção ao centro.

. Luneta para Torno Paralelo

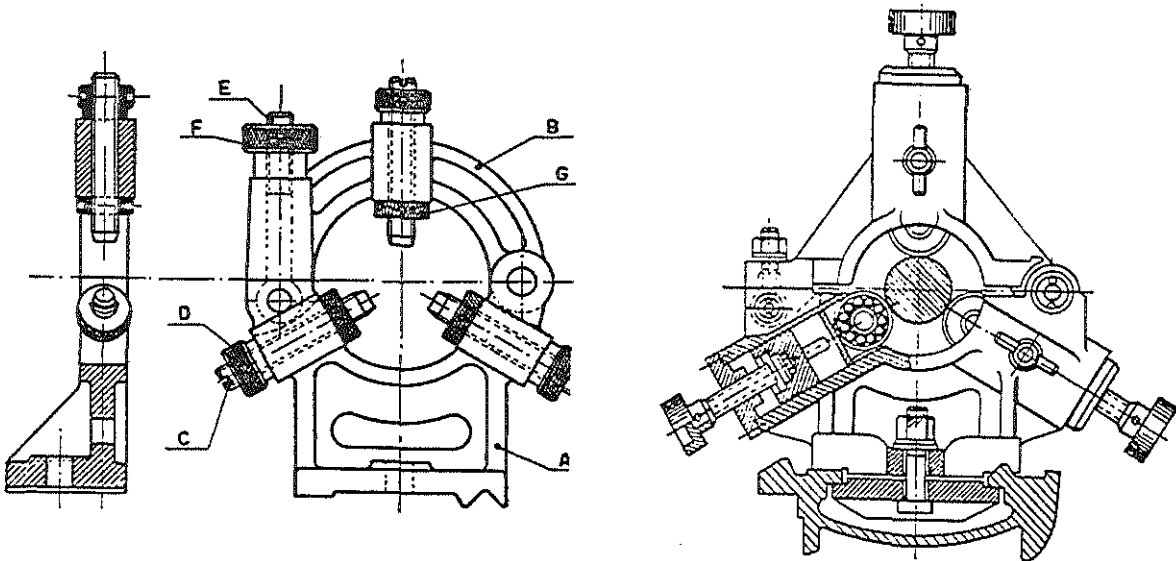


Figura 22 - Luneta para torno.

A - Suporte fixo, B - Suporte móvel, C - Parafuso de apoio do eixo, D - Porca, E - Parafuso de fixação dos suportes, F - Porca, G - Contra-porca.

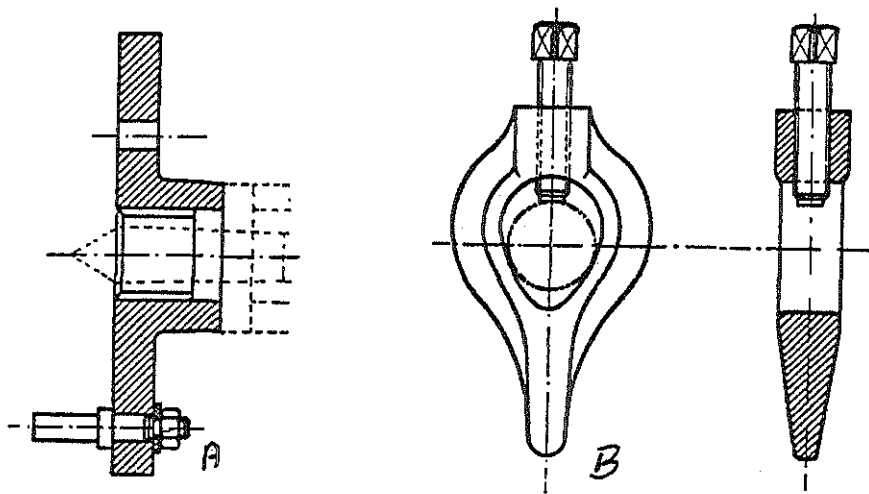


Figura 23 - A. Placa de arrasto, B. Grampo.

• MONTAGENS TÍPICAS PARA USINAGENS EM TORNO PARALELO

. Torneamento em Placa

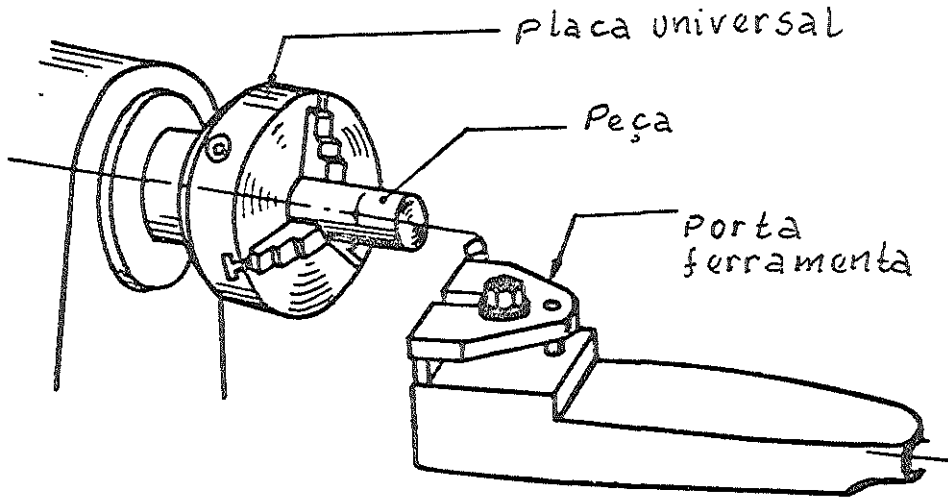


Figura 24 - Torneamento de peças em placa.

. Torneamento de Barras com Auxílio de Contra-ponta

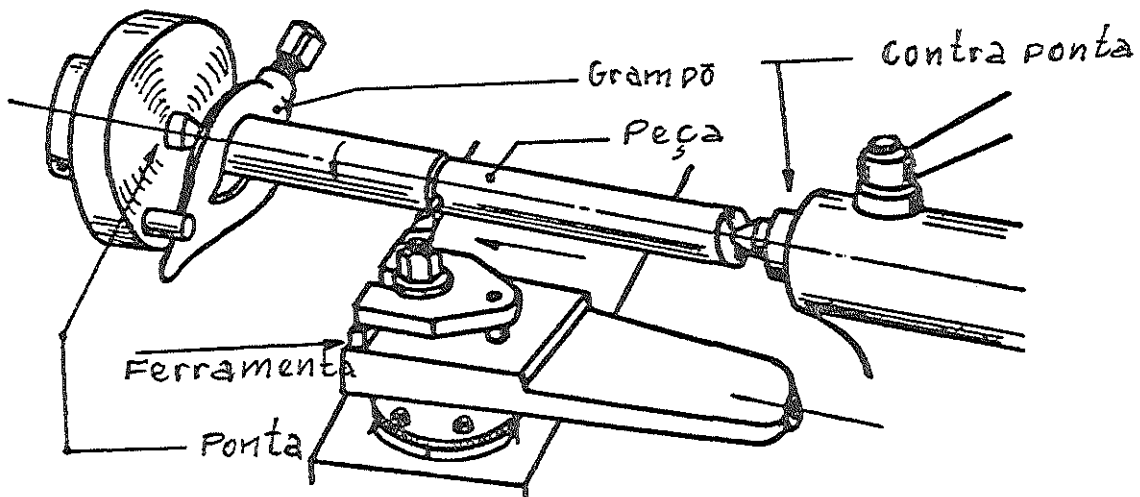


Figura 25 - Torneamento de barras entre pontas.

. Torneamento Cônico Externo e Interno com Inclinação do Carro

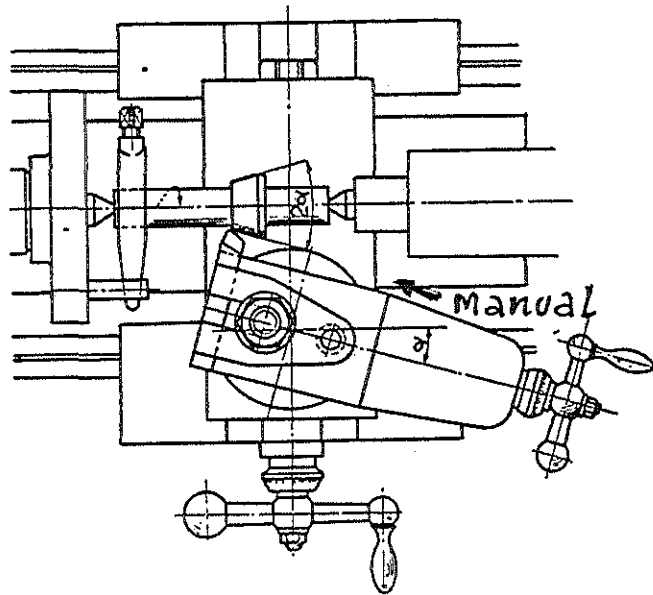


Figura 26 - Torneamento cônico externo

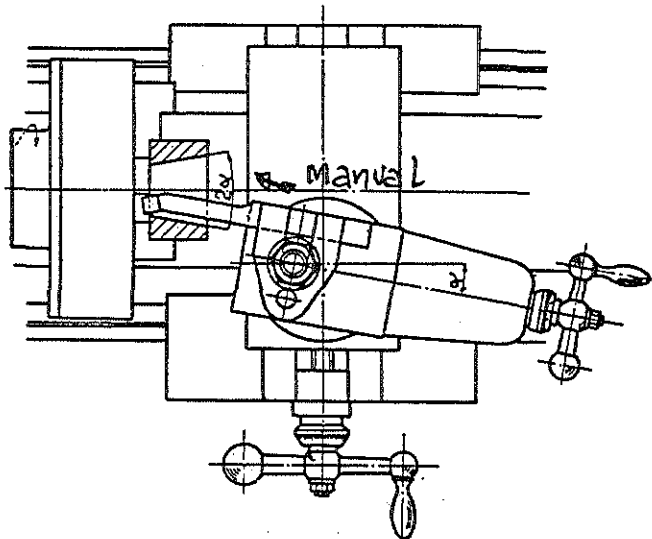


Figura 27 - Torneamento interno.

Em ambos os casos, o carro porta-ferramenta se mantém parado, acionando-se manualmente o carro da torre porta-ferramenta inclinado convenientemente de forma que o bico da ferramenta faça uma trajetória oblíqua em relação ao barramento de um ângulo igual à conicidade.

. Torneamento Cônico Externo com Deslocamento Transversal da Contra Ponta

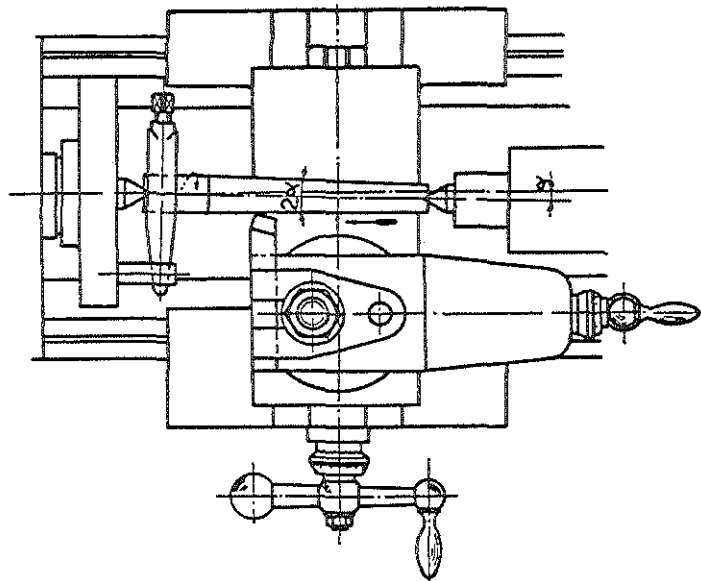


Figura 28 - Torneamento cônico com deslocamento transversal da contra ponta.

. Torneamento Cônico Externo com Barra de Guia

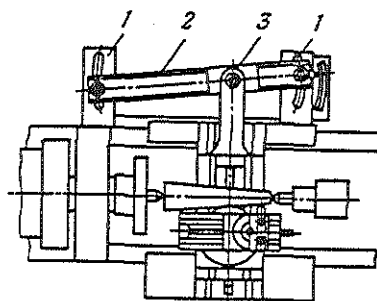


Figura 29 - Torneamento cônico com dispositivo.
1 - Suporte, 2 - Barra guia, 3 - Bloco guia.

Para aplicação deste dispositivo o fuso do carro transversal deve ser retirado. Assim, o torneamento ocorre com o avanço longitudinal de todo carro porta-ferramenta, combinado com um avanço transversal imprimido no carro transversal pela barra guia 2, através do bloco guia 3, obtendo-se uma superfície cônica de inclinação igual a colocada na barra guia.

. Torneamento de Barras com a Utilização de Luneta

A utilização de luneta é necessária em dois casos: torneamento de eixos longos e finos sujeitos a vibrações e faceamento de extremidades, conforme mostram as figuras a seguir.

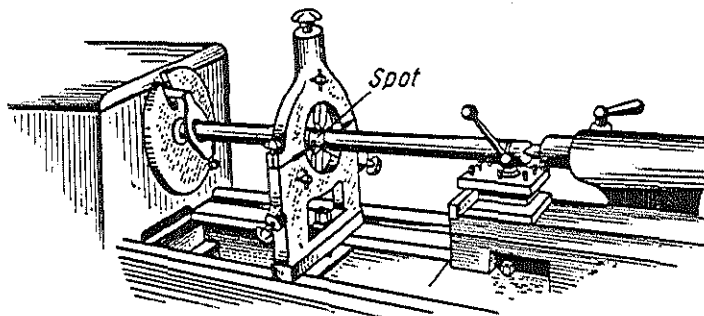


Figura 30 - Torneamento com luneta estacionária sobre o barramento.

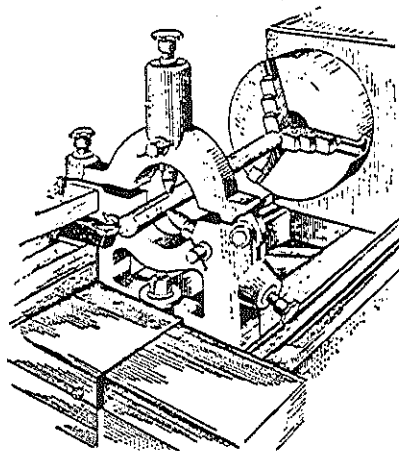


Figura 31 - Faceamento com luneta estacionária sobre o barramento.

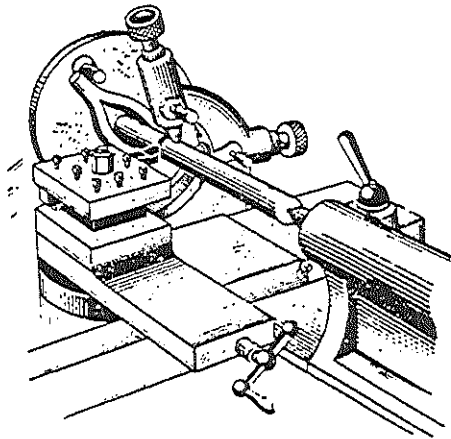


Figura 32 - Torneamento com luneta montada sobre o carro porta-ferramenta.

. Torneamento de Roscas

Para a usinagem de roscas em torno é necessário que o movimento longitudinal da ferramenta (avanço) por rotação do eixo-árvore seja igual ao passo da rosca, o que pode ser obtido fazendo os convenientes acoplamentos de engrenagens na caixa de mudanças de avanço.

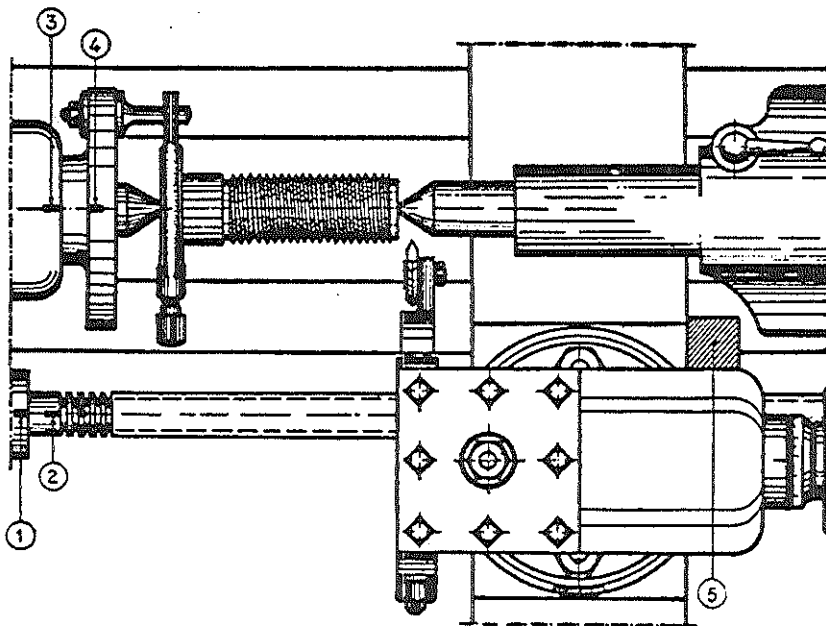


Figura 33 - Roscamento externo realizado em torno.

. Mandrilamento em Torno

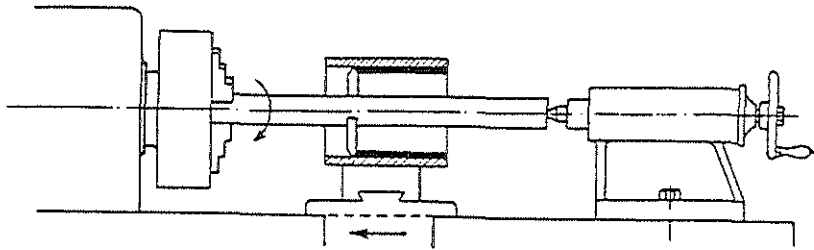


Figura 34 - Mandrilamento em torno.

. Recartilhamento em Torno

Roletes ranhurados são pressionados contra a peça produzindo sulcos, conforme ilustrado.

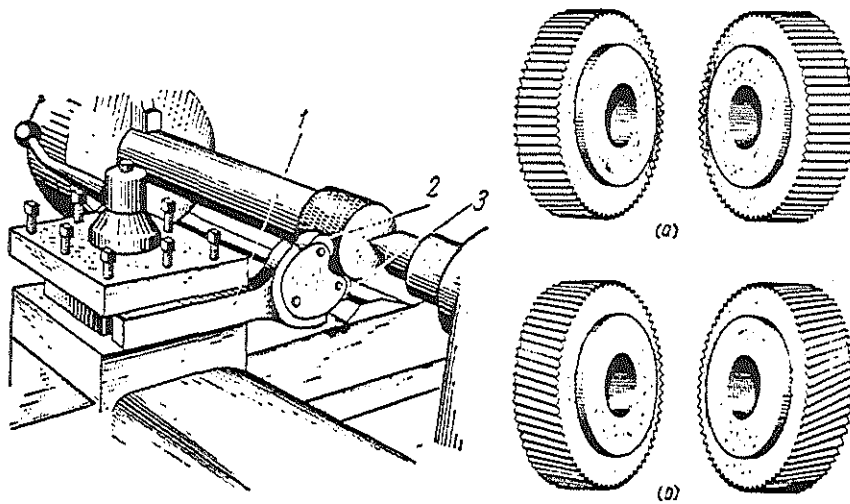


Figura 35 - Recartilhamento.

2.1.2. Torno Revólver

Os tornos paralelos, pelas dificuldades que apresentam na troca de ferramentas e fixação da matéria-prima, não

oferecem, de modo geral, grandes possibilidades de usinagem em série, sendo, portanto, mais apropriados para a produção de lotes compostos de pequenas quantidades de peças.

Os tornos tipo revolver cobrem essa evidente incapacidade dos tornos paralelos para usinagem em série, apresentando, além do normal carro porta-ferramenta longitudinal e transversal, um segundo carro, também longitudinal, com um castelo giratório porta-ferramenta de seis posições, como mostra a ilustração a seguir.

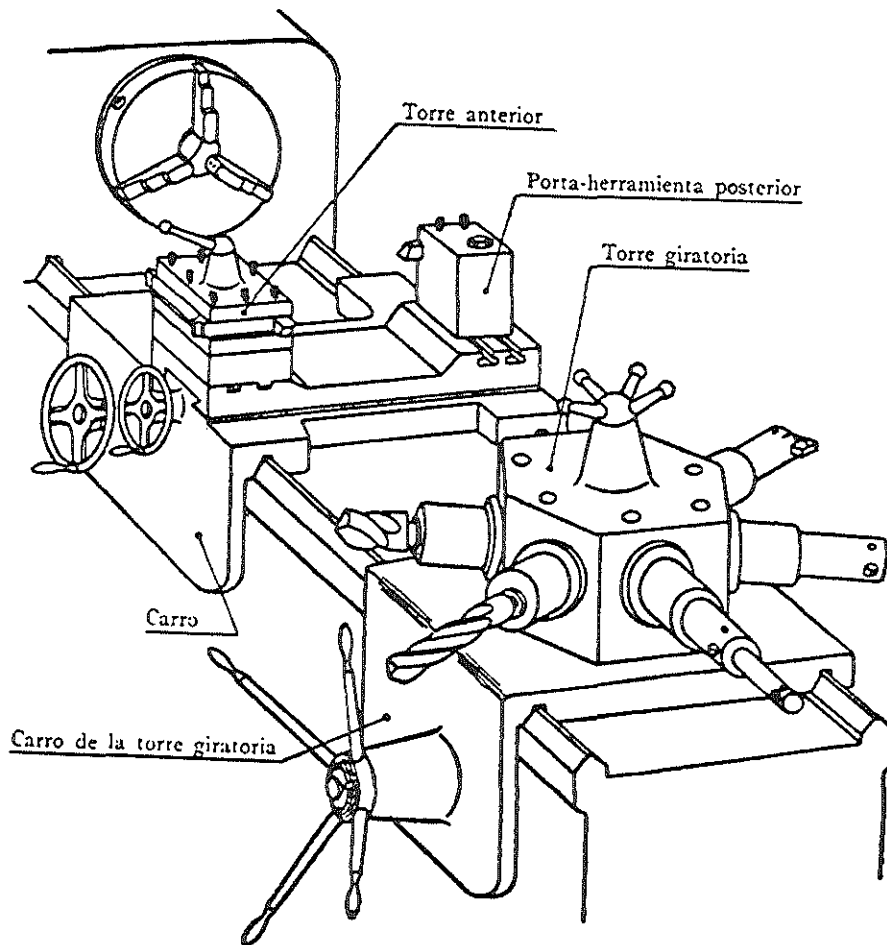


Figura 36 - Torno revólver.

Estas máquinas se dividem em dois tipos básicos: sela e torpedo, conforme mostra a figura a seguir.

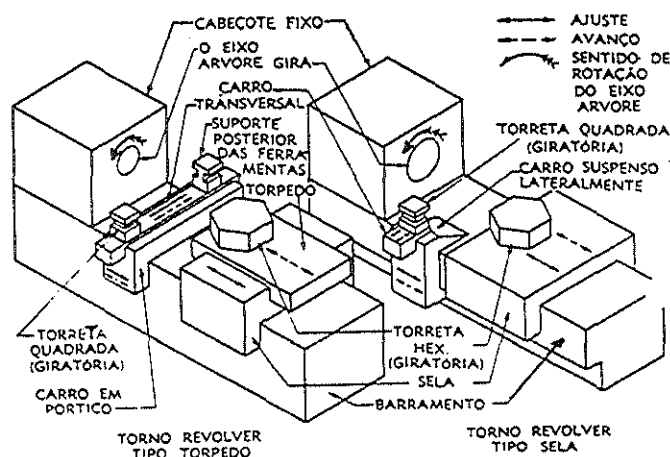


Figura 37 - Tipos básicos de torno revólver.

O castelo porta-ferramenta tem a possibilidade de rodar 1/6 de volta, apresentando uma nova ferramenta toda vez que o carro porta-castelo recua para a direita até o fim de seu curso. A torre porta-ferramenta do carro normal pode posicionar quatro ferramentas e o bloco ao seu lado pode fixar uma ferramenta, resultado a possibilidade de se posicionar onze ferramentas ou mais, se aplicar-se um bloco contendo mais que uma ferramenta nas faces do castelo giratório.

Além da construção na posição horizontal como mostrado, alguns construtores posicionam este porta-ferramenta na vertical, como mostra a figura a seguir.

Assim, uma vez definida a seqüência das operações necessárias para a usinagem de uma peça, as ferramentas são alocadas na posição de trabalho ordenadamente, uma a uma, cumprindo cada uma as respectivas fases de trabalho na peça, sem retirá-la da máquina e sem colocação de outras ferramentas. Os ciclos realizáveis podem ser os mais variados, como por exemplo: furar, broquear, alargar, facear, etc..

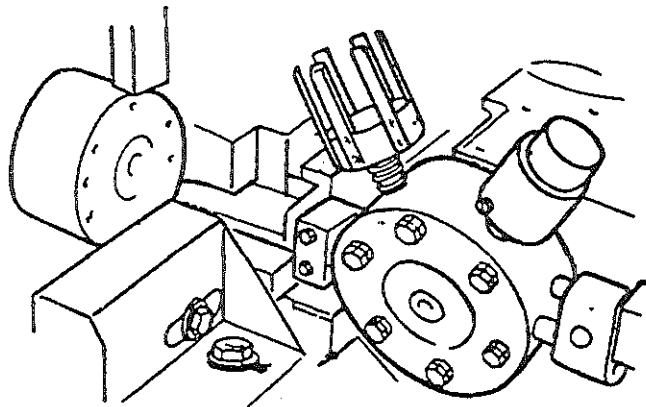


Figura 38 - Porta-ferramenta na vertical.

Quanto a forma da matéria-prima, os tornos revolver podem ser equipados de duas formas:

- Torno revólver para usinagem de peças com material individual. Os tipos modernos de tornos revolver permitem usinar peças previamente estampados, fundidas ou serradas de barras com uma fixação igual a do torno paralelo, ou seja, através de placa autocentrante ou especiais que permitem um rápido posicionamento e uma rápida fixação da peça, como são as placas pneumáticas.

- Torno revólver para usinagem de peças tiradas de barras. Neste caso, possuem o eixo árvore furado, por onde passa a barra, e são providos de dispositivo de fixação mediante pinça cônica expansível e de um dispositivo para avanço da barra no momento em que a pinça se abre. A figura a seguir mostra o eixo árvore de um torno revolver com esta construção e a seguir um torno revolver moderno.

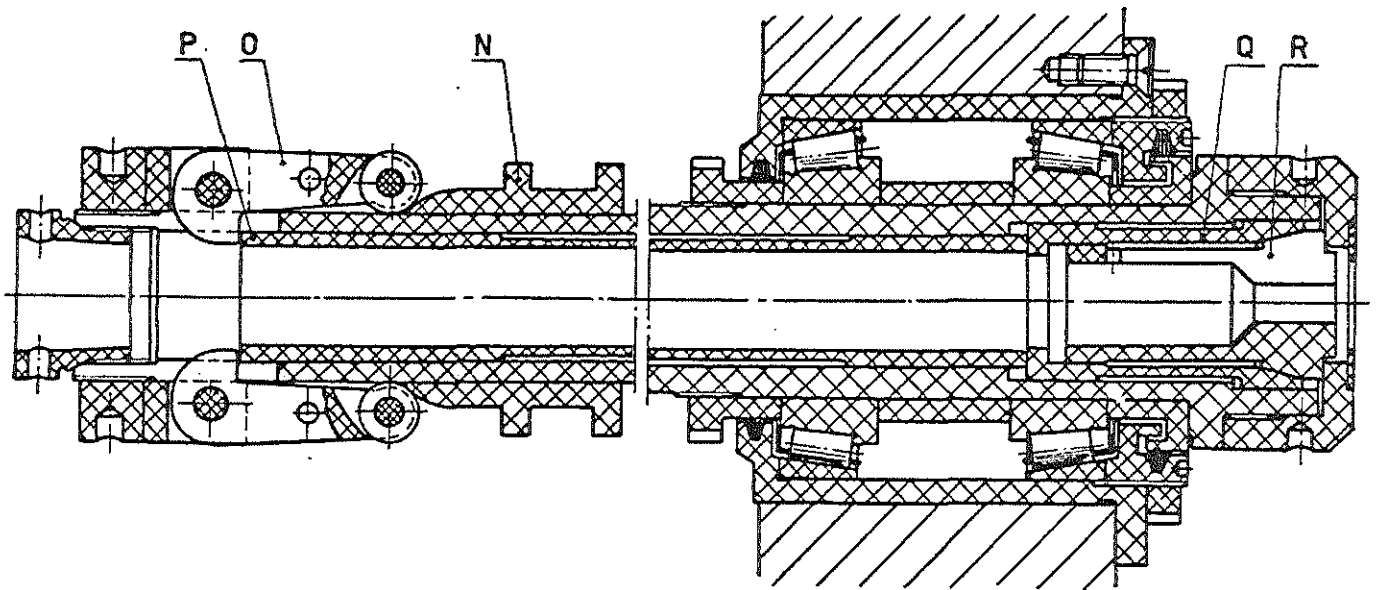


Figura 39 - Dispositivo de comando para abertura e fechamento de uma pinça agarra barra.

N - desembréia, O - alavanca, P - mangote, Q - cubo, R - Pinça

Para fechar a pinça o operador aciona uma alavanca que provoca um deslocamento para a esquerda de desembréia N, fazendo com que a alavanca articulada O empurre o mangote P para a frente que, conseqüentemente empurra o cubo Q contra a parte cônica da pinça, R, obrigando-a a fechar.

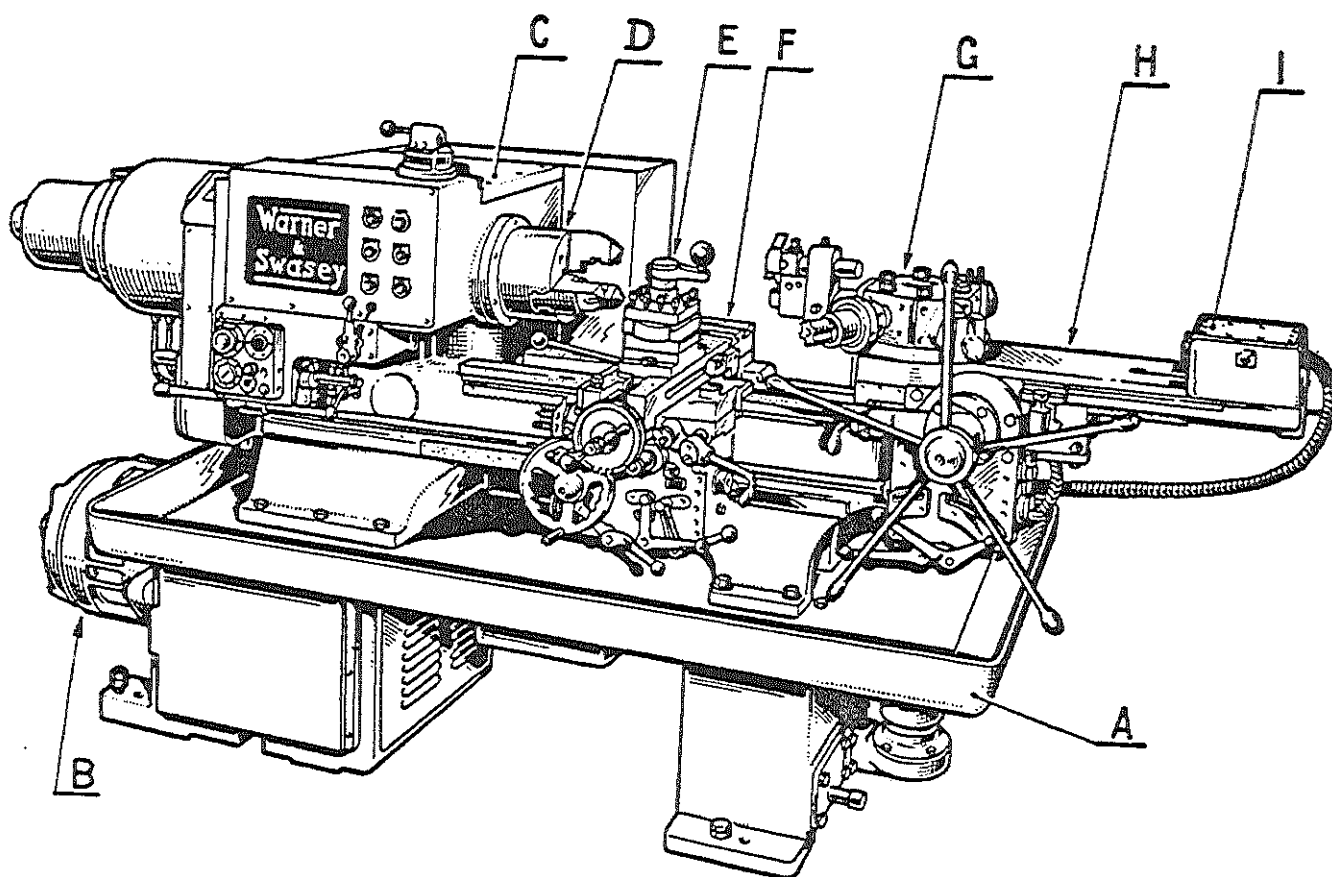


Figura 40 - Torno semi-automático.

A - barramento, B - motor, C - cabeçote, D - placa, E - torre porta-ferramenta, F - carro longitudinal e transversal, G - castelo giratório, H - torpedo, I - comandos.

Basicamente a cadeia cinemática de um torno revolver é bastante semelhante à cadeia do torno paralelo. Os avanços dos carros porta-ferramenta podem ser comandados manualmente ou podem ser mecanizados; o giro do castelo, em tornos manuais, é feito manualmente através de alavanca, e comandados nos tornos automatizados.

• MÉTODOS TÍPICOS DE USINAGEM EM TORNO REVÓLVER

Nos tornos revolver podem ser trabalhadas peças das mais variadas formas e dimensões de acordo com as possibilidades proporcionadas pela máquina. Graças aos movimentos axiais do castelo giratório e radiais o carro normal tem-se a possibilidade de obter numerosas combinações de perfis de peças empregando ferramentas relativamente simples.

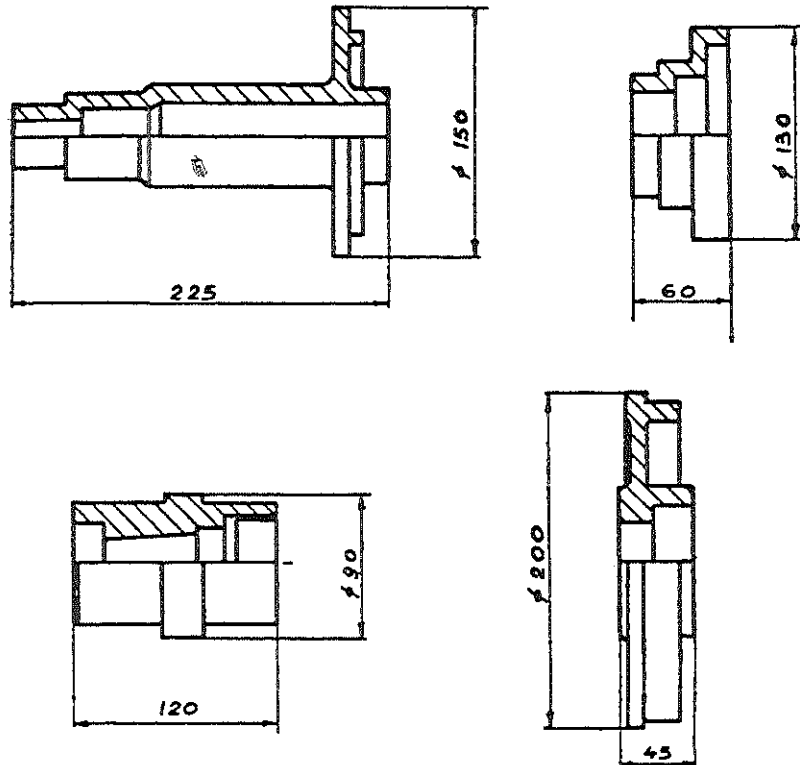


Figura 41 - Peças típicas a executar em torno revolver.

A forma e a localização das ferramentas na máquina devem, naturalmente, ser estudadas caso por caso, em relação ao contorno e as dimensões da peça a ser usinada. A figura a seguir mostra um exemplo de diversos dispositivos aplicados ao castelo.

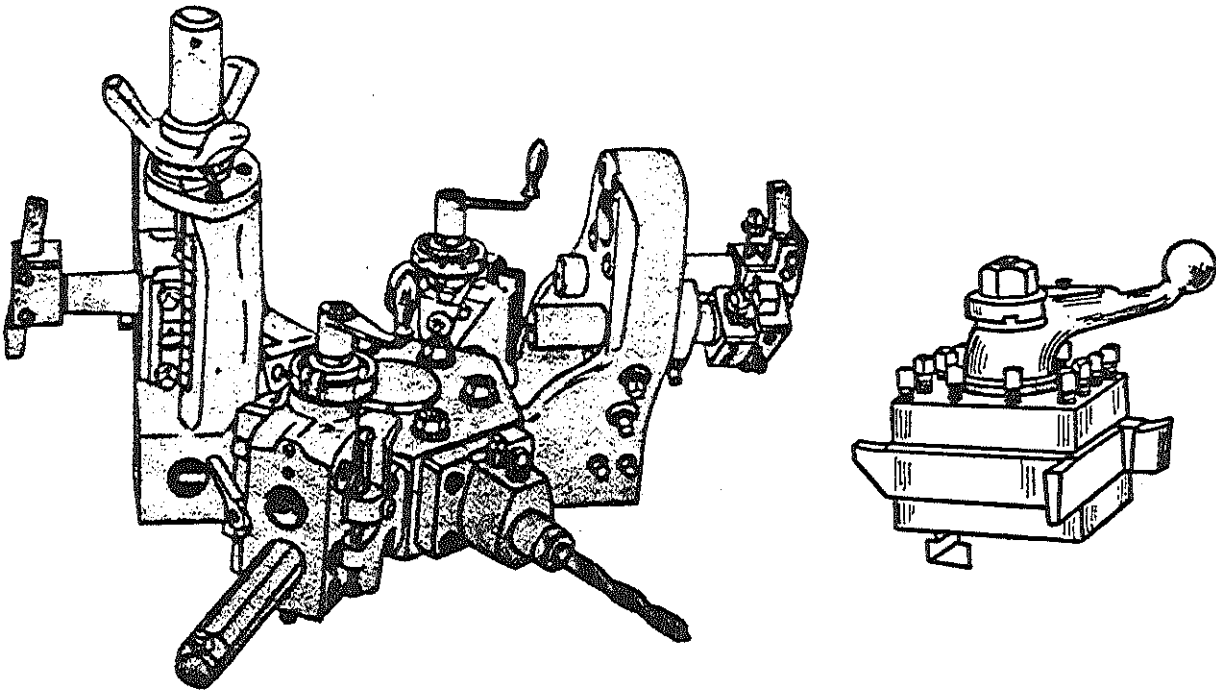


Figura 42 - Montagem em castelo giratório e torre quadrada.

A fim de expor em evidência as características destes tipos de tornos, expõem-se algumas montagens de ferramentas que ordenadamente, uma a uma, apresentam-se em frente a peça para executar a operação elementar que lhe cabe.

Torneamento de uma bucha de precisão a partir de barra

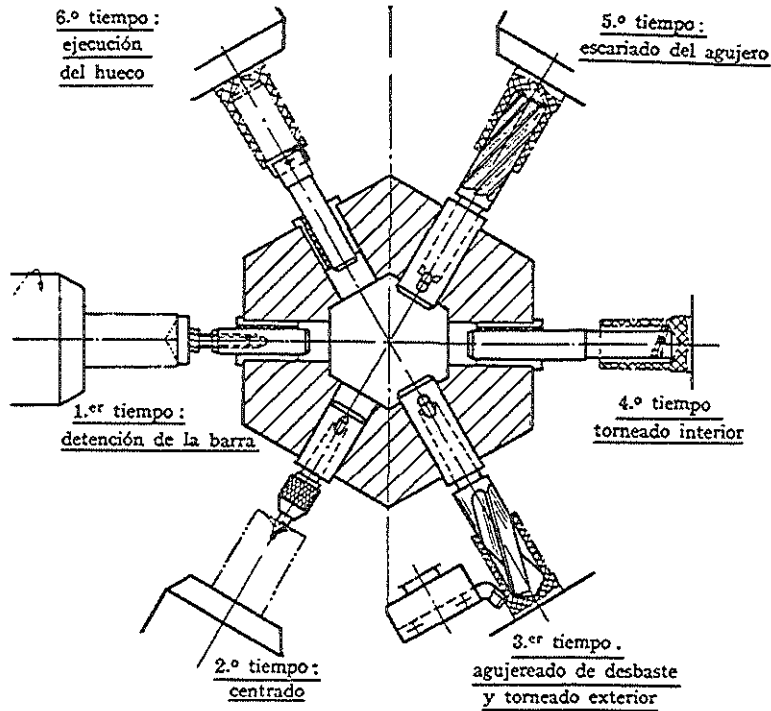


Figura 43 - Fases de usinagem.

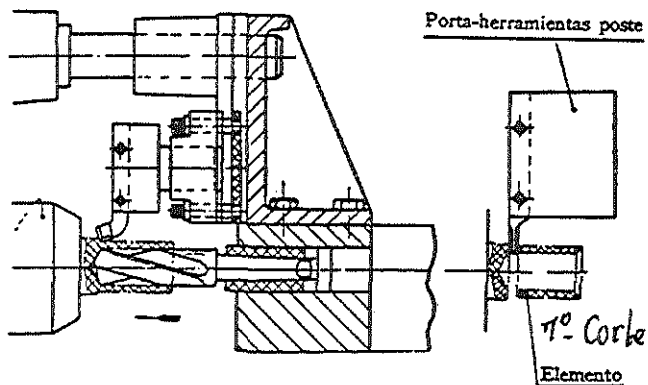


Figura 44 - Detalhe da 3a. Fase e corte.

. Torneamento interno de uma peça

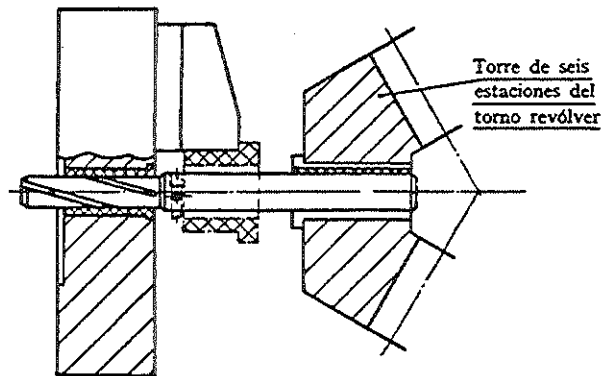


Figura 45 - Torneamento interno com mandril guiado.

A operação é executada por um mandril, uma extremidade do qual é fixada numa bucha elástica do castelo enquanto que a outra extremidade é guiada no furo coaxial de uma bucha montada na placa porta-peça.

. Torneamento cilíndrico exterior

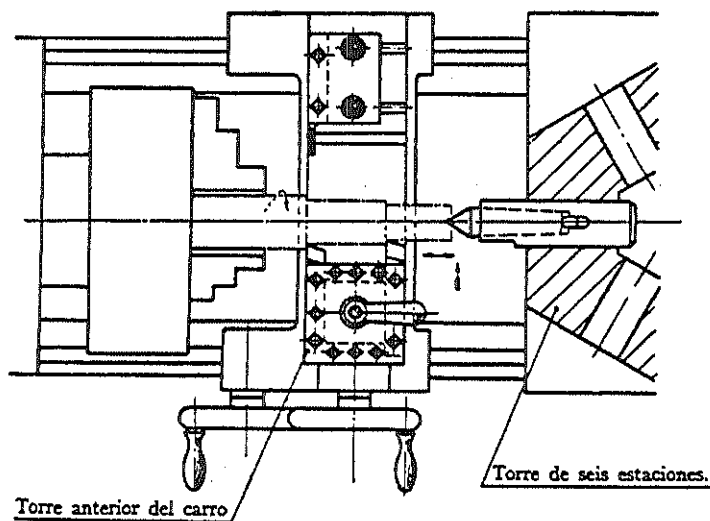


Figura 46 - Torneamento de um eixo.

2.1.3. Tornos Semi-Automáticos de Ferramentas Múltiplas

As contínuas exigências de produção levou os técnicos à construção de tornos que permitam a usinagem simultânea com muitas ferramentas. Estes tornos semi-automáticos caracterizam-se por ter dois carros:

- 1 - anterior com movimento longitudinal,
- 2 - posterior com movimento transversal, sendo que

ambos trabalham simultaneamente com avanço automático.

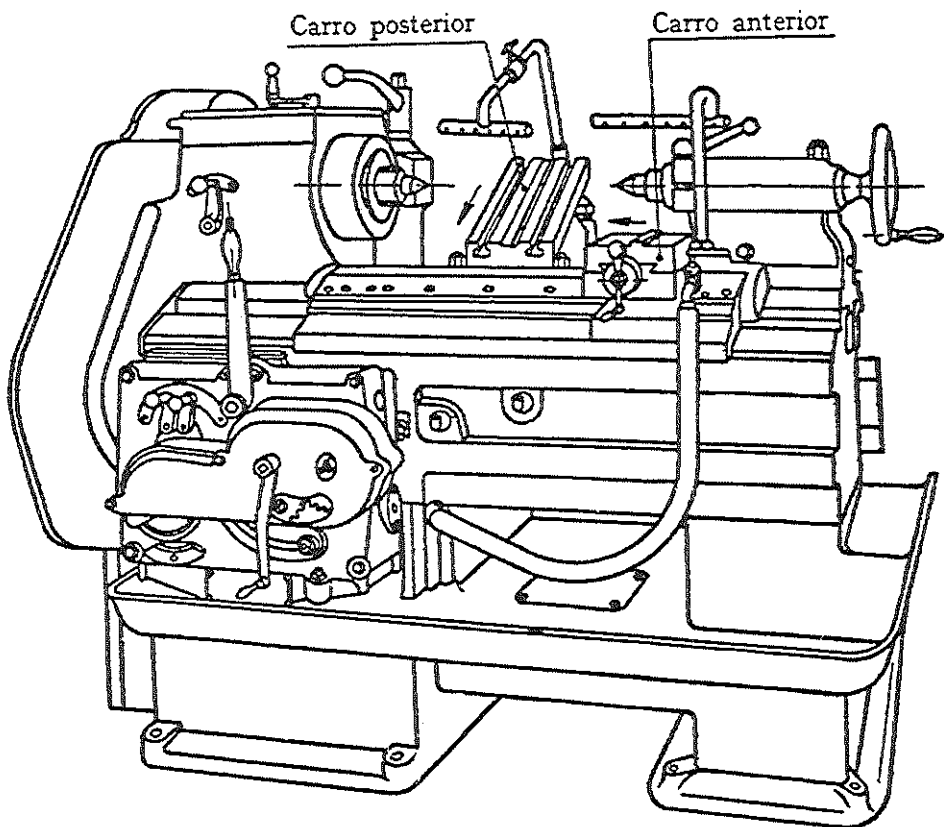


Figura 47 - Torno semi-automático.

Os dois carros, naturalmente, levam, cada um, um bloco porta-ferramentas que pode ser fabricado nas formas mais variadas de acordo com as exigências requeridas. As ferramentas posicionadas no bloco do carro anterior têm a função de remover lateralmente o cavaco, pois são acionados em sentido longitudinal; as ferramentas anteriores torneiam o elemento de modo a formar superfícies cilíndricas ou cônicas; ao passo que os elementos

posteriores podem facear, executar alisamentos, chanfros, rebaixos, perfis, ou cortar a peça acabada. Os movimentos dos dois carros inciam e terminam contemporaneamente.

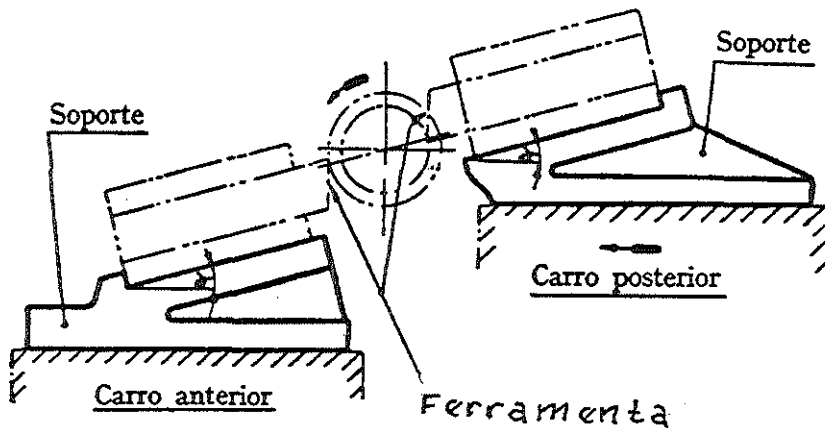


Figura 48 - Disposição dos carros porta-ferramenta.

O campo de trabalho destes tornos está limitado ao torneamento externo de peças que têm muitos ressaltos e rebaixos. Dado a sua simplicidade de funcionamento e manejo, os tornos semi-automáticos permitem o emprego de trabalhadores não especializados, possibilitando, ainda, que um mesmo operador cuide de várias máquinas.

• MÉTODOS TÍPICOS DE USINAGENS EM TORNOS SEMI-AUTOMÁTICOS

. Tipos de Peças

O emprego destes tornos é limitado a torneamento externo de peças que tem muitos degraus e rebaixos:

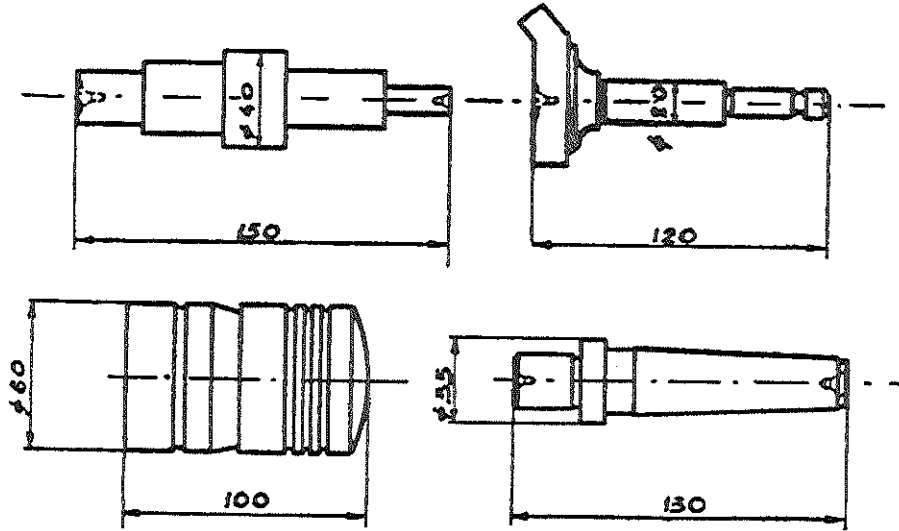


Figura 49 - Peças típicas.

A operação, geralmente, efetua-se posicionando a peça entre duas contra-pontas e fixando-a a uma extremidade com uma placa de arrasto ou universal.

. Usinagem de um Eixo

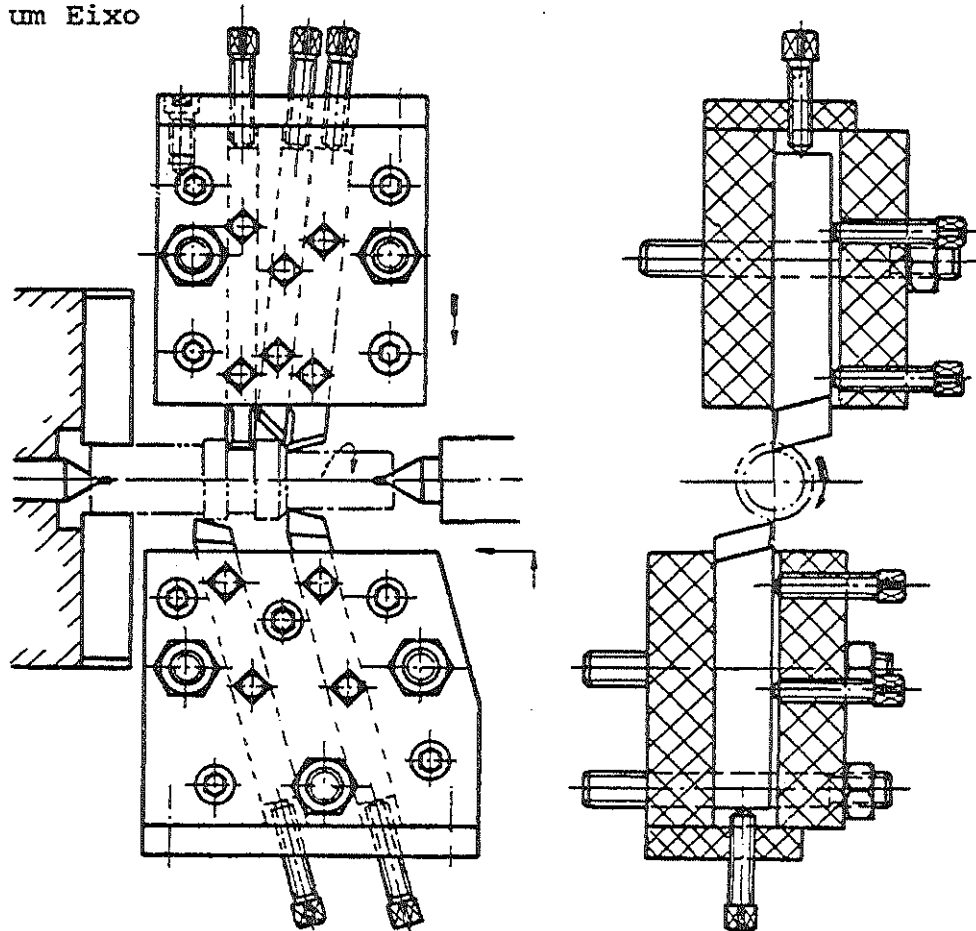


Figura 50 - Usinagem de um eixo.

. Usinagem de uma bucha

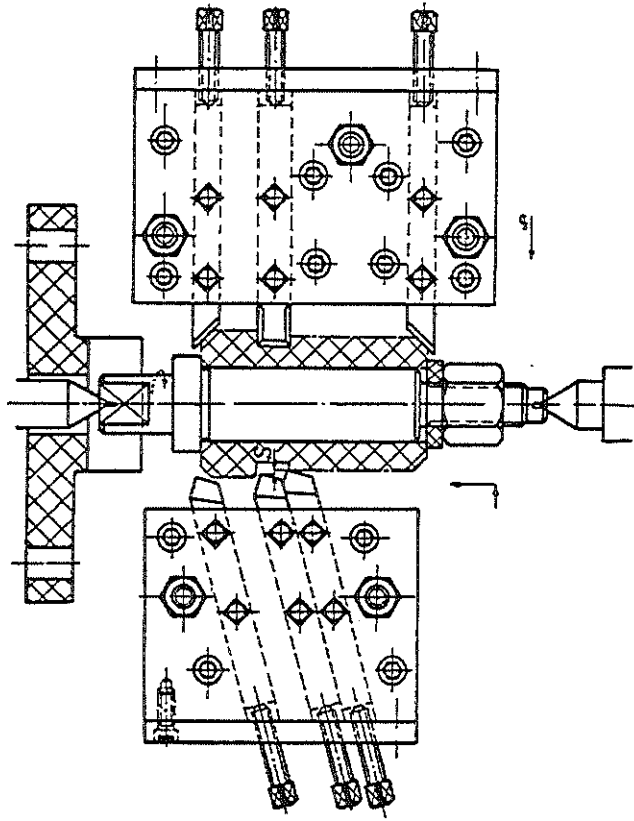


Figura 51 - Usinagem de uma bucha.

. Usinagem de um pistão

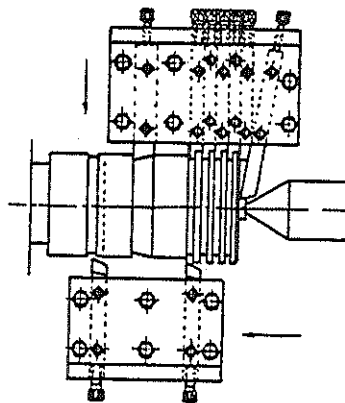


Figura 52 Usinagem de um pistão.

2.1.4. Torno Automático

O torno automático geralmente é empregado para a usinagem de barra (cilíndrica, hexagonal, quadrada) que passando através do mandril, aponta uma extremidade de modo a poder ser trabalhada por ferramentas montadas nos carros. Muitas peças podem ser completamente usinadas em torno mediante uma sucessão ordenada e preestabelecida de operações elementares, como por exemplo: colocação de barra; fixação da mesma; torneamento exterior; rosqueamento exterior; perfilamento e corte. É evidente que para uma grande produção de peças, se impõe a necessidade de se repetir mecanicamente e em ordem um determinado ciclo de torneamento, sem recorrer ao emprego de uma operação para manobrar a máquina. Os tornos automáticos se impõem, porque seus movimentos sincronizados e perfeitos reproduzem constantemente um mesmo ciclo de trabalho em um tempo muito curto realizando, em comparação com máquinas não automáticas, uma grande produção de peças com boa produtividade, exatidão e a menor custo. Mais do que qualquer outra máquina operatriz dispensa a atenção constante de um operador, possibilitando que um operário tome conta de várias máquinas, porque em regime de produção o trabalho requer apenas a alimentação da máquina com barras, a retirada de peças prontas e de cavacos e uma vigilância genérica para desligar a máquina caso necessário. Entretanto, a operação de preparação é trabalhosa e requer mão-de-obra especializada.

Em geral, todos os tornos automáticos são baseados na união de órgãos principais, como engrenagens, cremalheiras, e cames que podem ser de três tipos: a) de disco; b) de tambor, e c) frontais, conforme mostra a figura a seguir.

Existe ainda, a possibilidade de automatização através de utilização de elementos eletro-hidráulico-pneumáticos como cilindros, válvulas, chaves elétricas, etc..

Existe vários tipos de tornos automáticos constituídos pela combinação de diversos recursos para automatização como castelo giratório vertical, ferramentas múltiplas

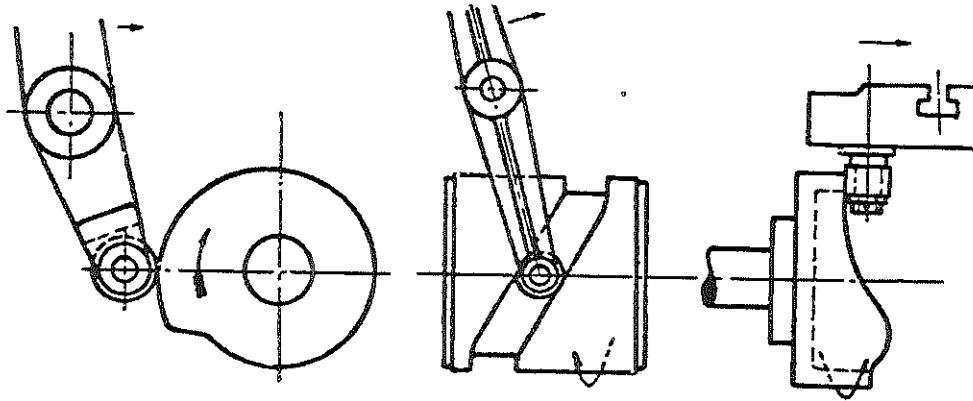


Figura 53 - Vários tipos de cames.

radiais, carro porta-ferramenta axial, etc., dividindo-se em tornos automáticos de um mandril e de vários mandris, como ilustra as figuras a seguir.

• TORNO AUTOMÁTICO DE UM MANDRIL

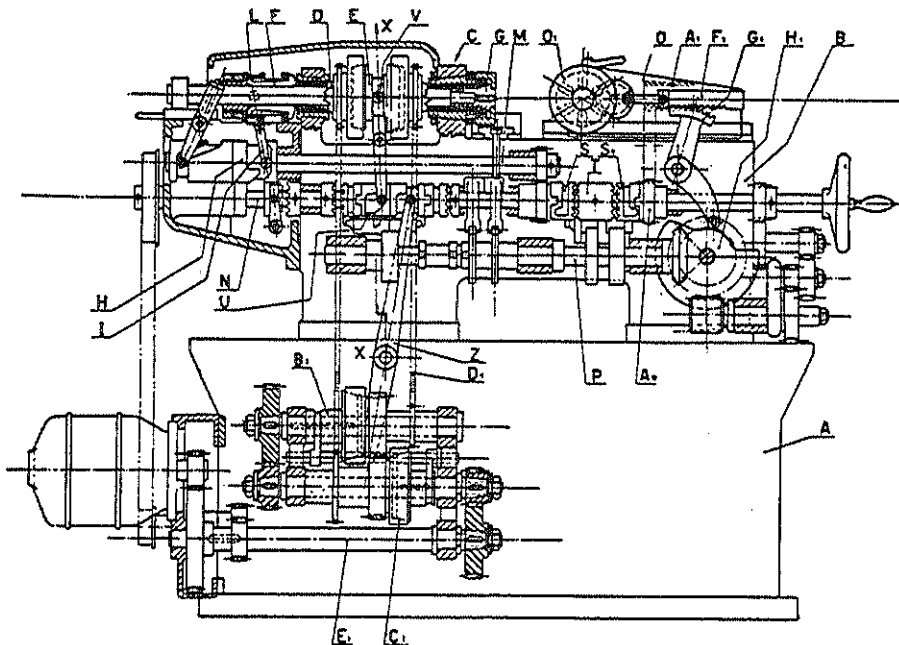


Figura 54 - Torno automático monomandril com castelo vertical.

D - Mandril, G - Pinça, O - Carro, O1 - Castelo

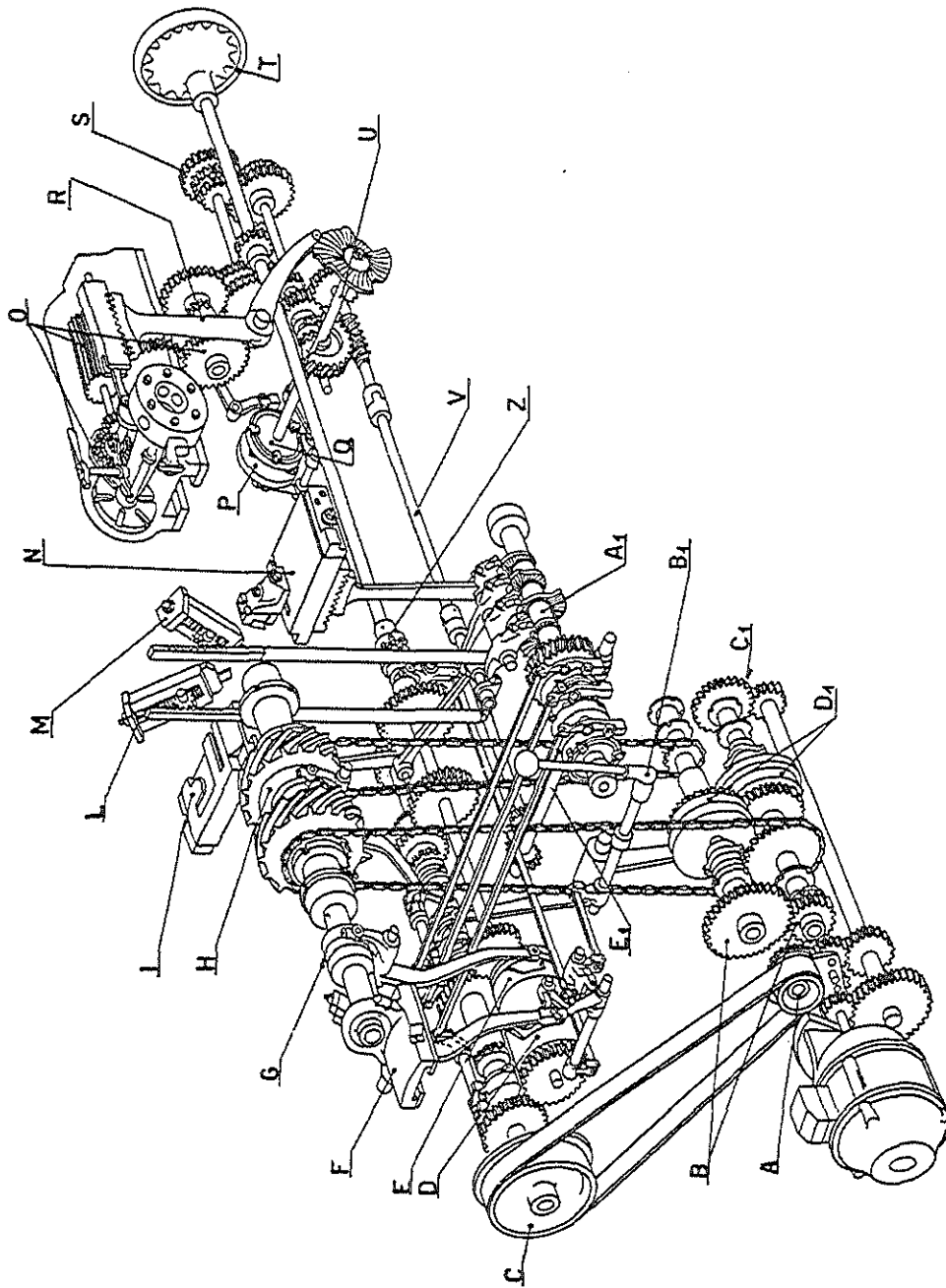


Figura 55-Comandos de um torno automático de um mandril

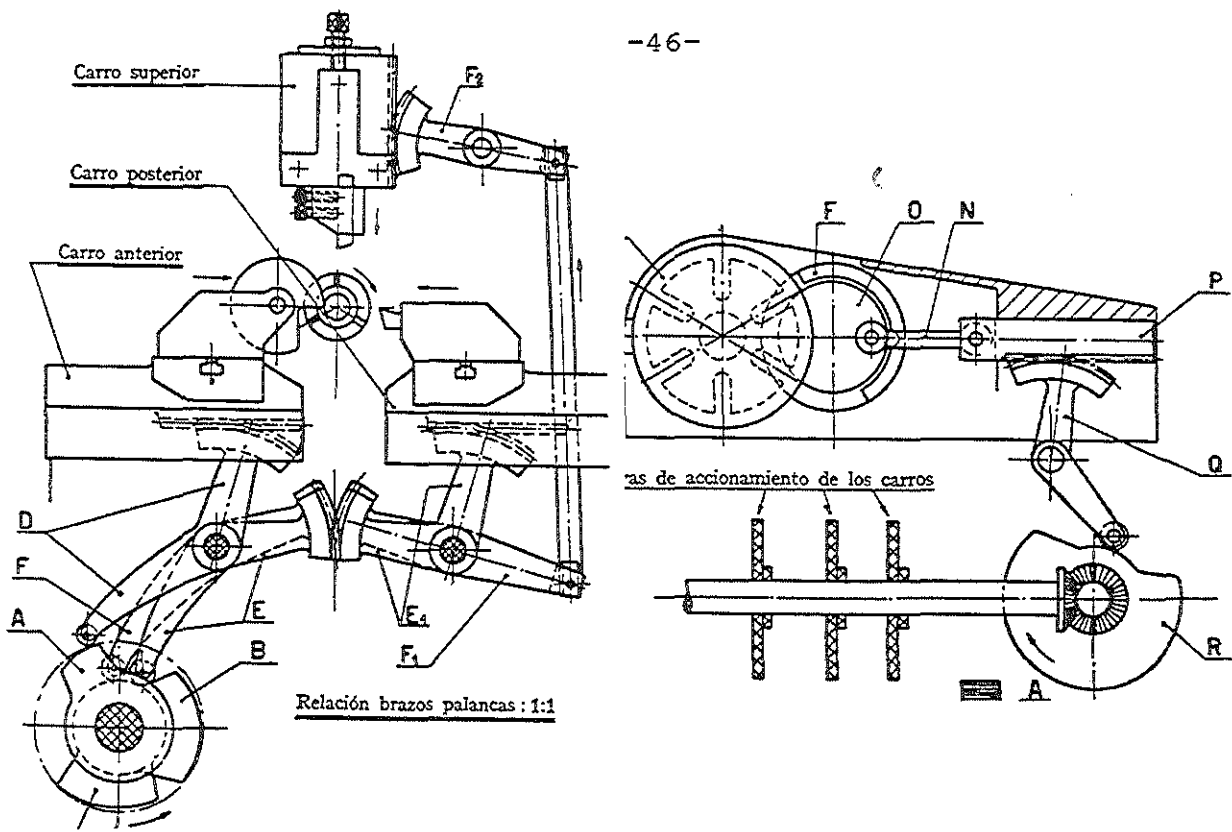


Figura 56 - Dispositivos de accionamiento dos carros do torno automático anterior.

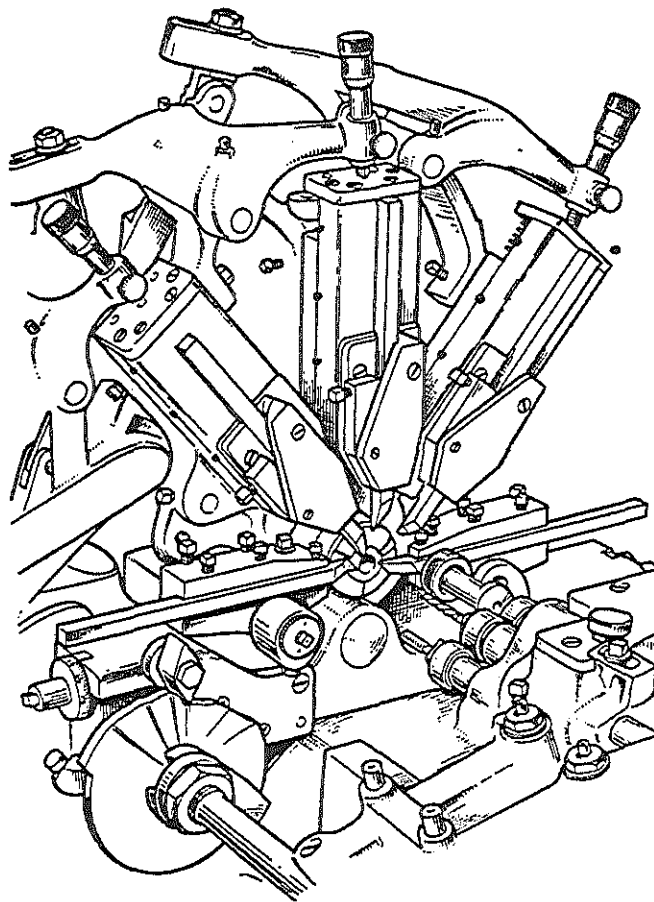


Figura 57 - Vista de várias ferramentas de um torno automático monomandrill.

Apresentam-se, a seguir, exemplos de peças produzidas em tornos automáticos sem necessidade de desmontar a peça da máquina.

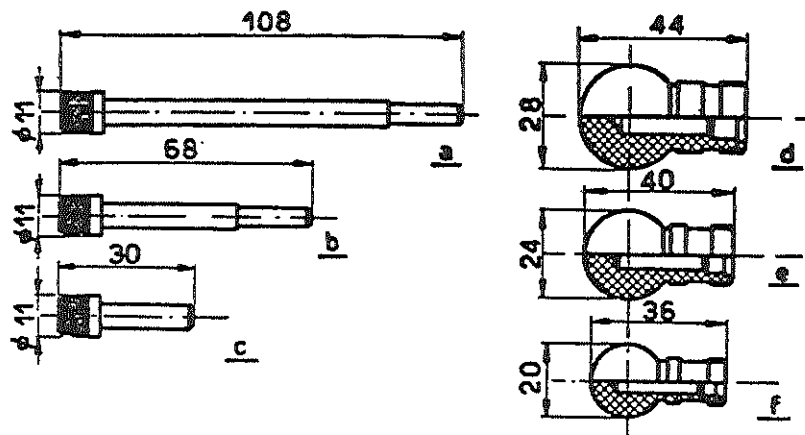
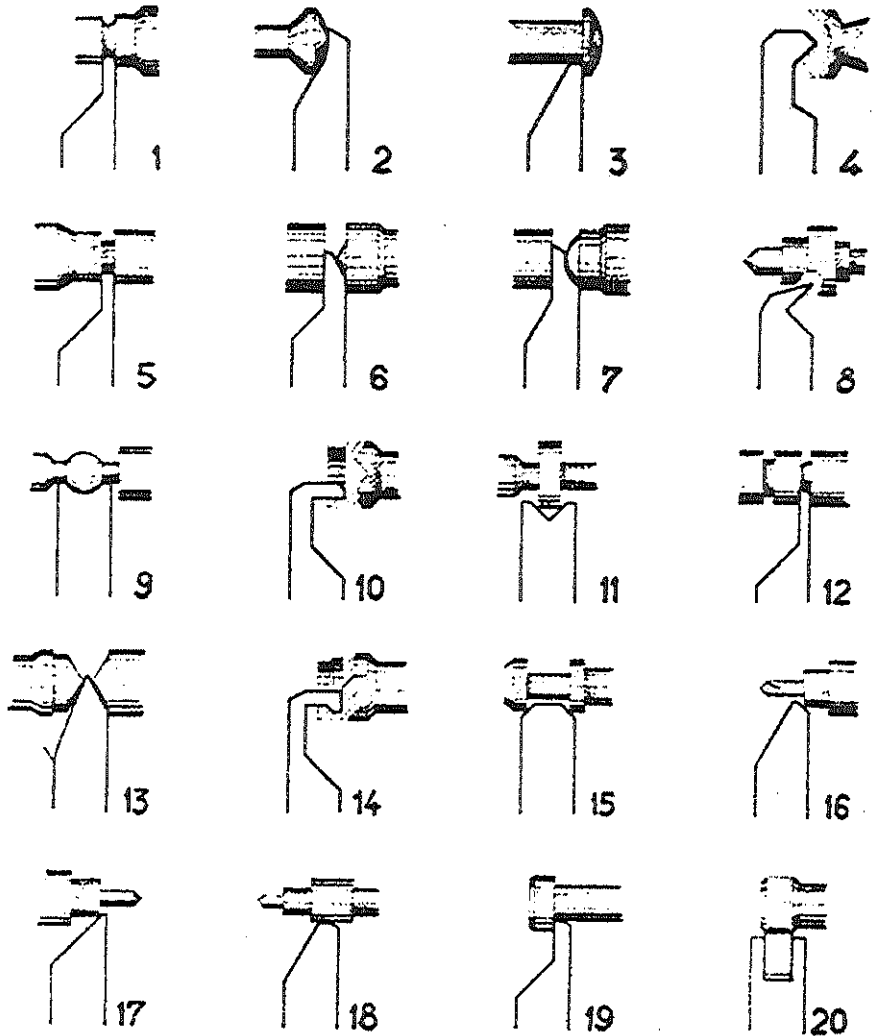


Figura 58 - Operações típicas produzidas em tornos automáticos.

A título de orientação, expõem-se a seguir alguns elementos que se podem obter diretamente, sem necessidade de desmontar a peça da máquina. Graças aos movimentos axiais do carro e radiais das ferramentas tem-se a possibilidade de obter numerosas combinações de perfis de peças empregando ferramentas relativamente simples.

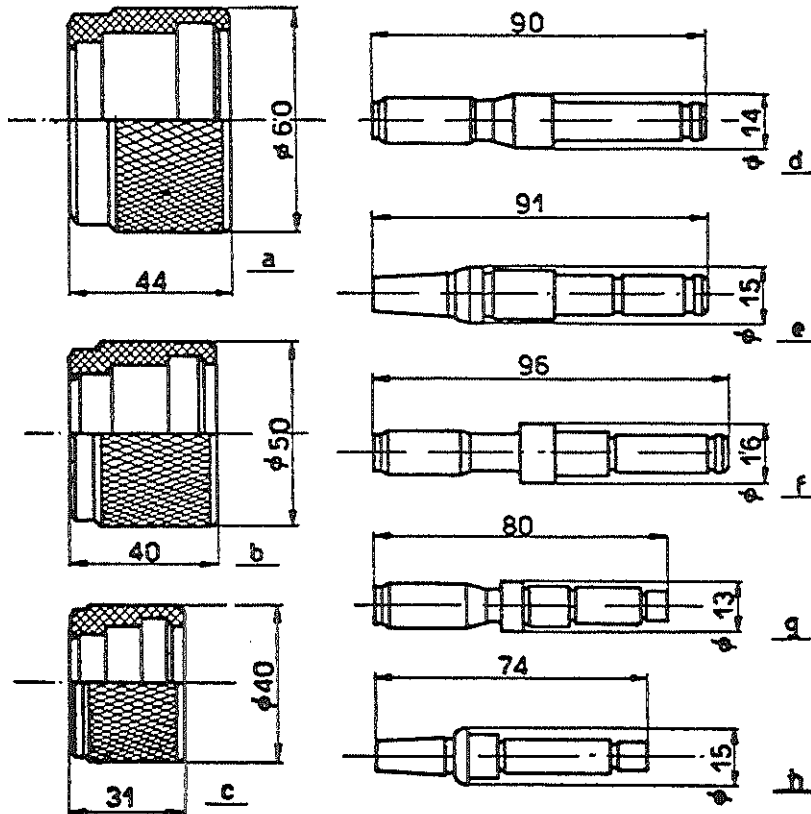


Figura 59 - Vários perfis de peças viáveis.

• TORNO AUTOMÁTICO MULTI-MANDRIS

Com um torno de um mandril as ferramentas entram em ação sucessivamente para cumprir as fases programadas, ficando as restantes inativa (exceto em alguns casos). Com os tornos automáticos de vários mandris, as ferramentas atuam ao mesmo tempo e trabalham sucessivamente sobre as distintas barras que alimentam cada mandril.

O princípio de funcionamento desta máquina é baseado na existência de um cabeçote porta-mandril de eixo horizontal e forma cilíndrica que contém 4, 5, 6 e até 8 mandris rotativos a uma velocidade econômica de corte.

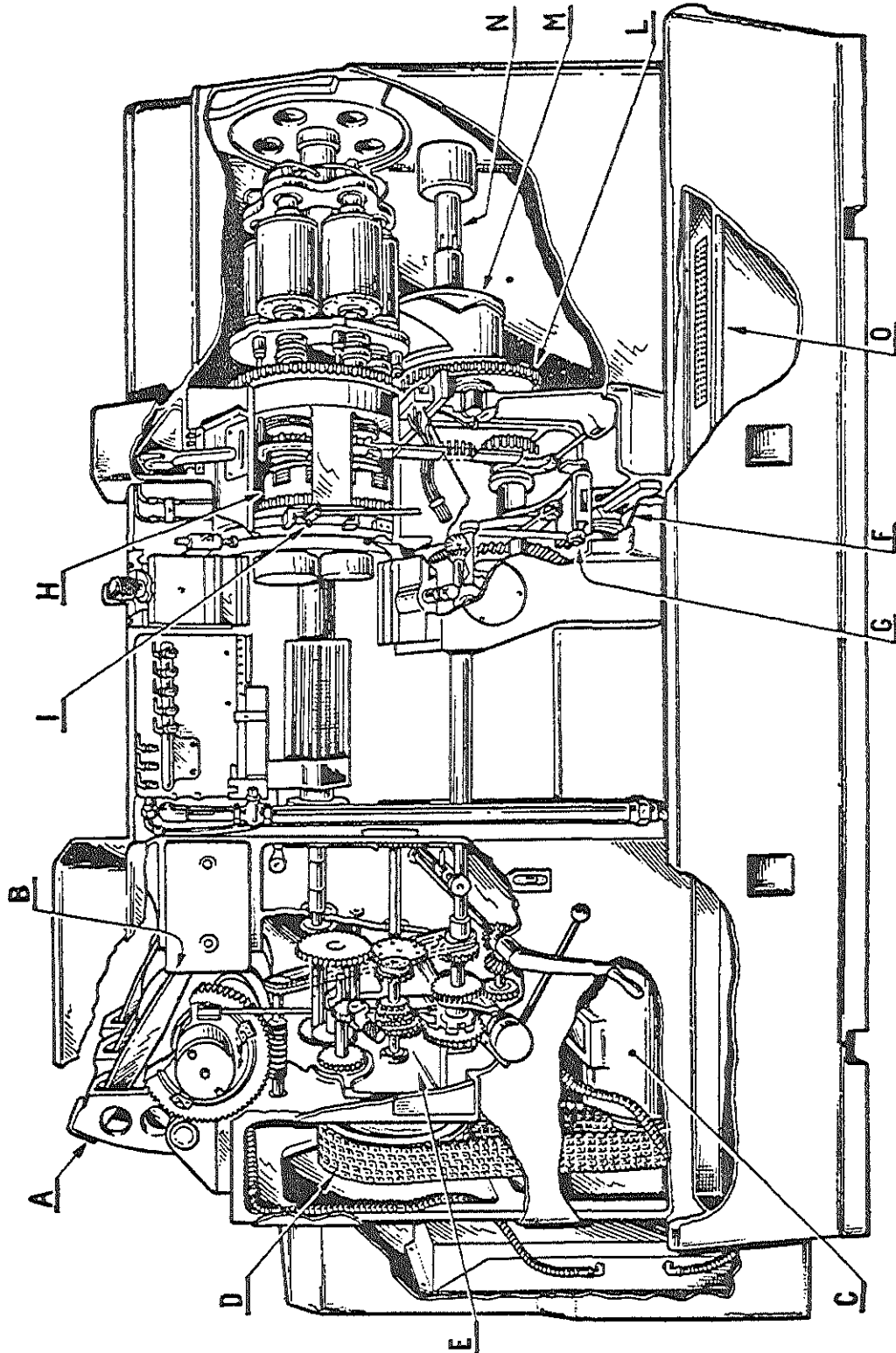


Figura 60 - Torno automático de cinco mandris

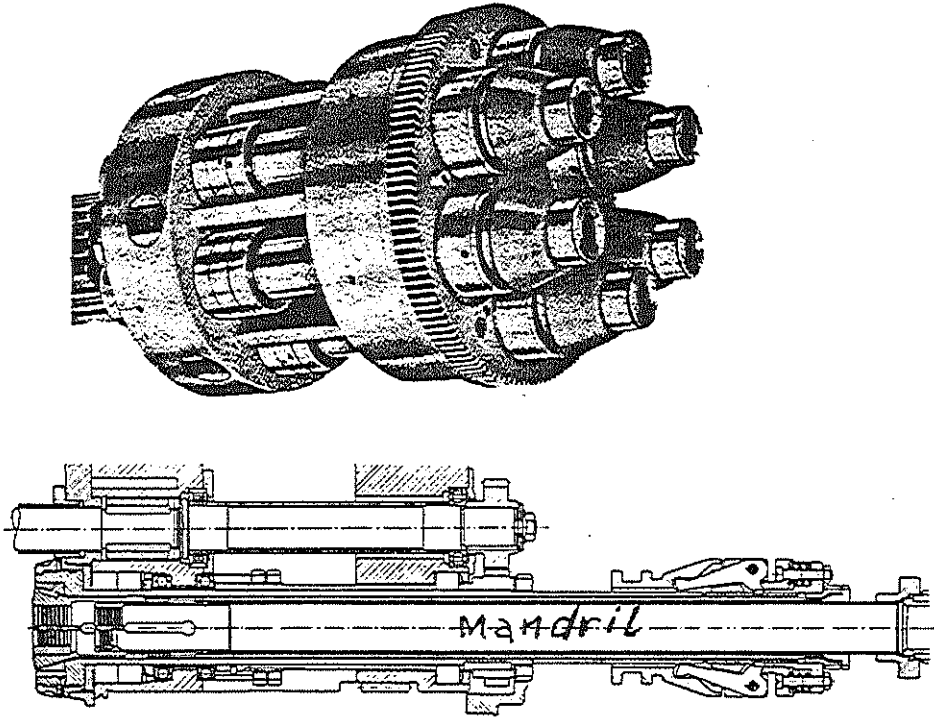


Figura 61-Cabecote porta-mandril de 6 eixos e detalhe de um mandril

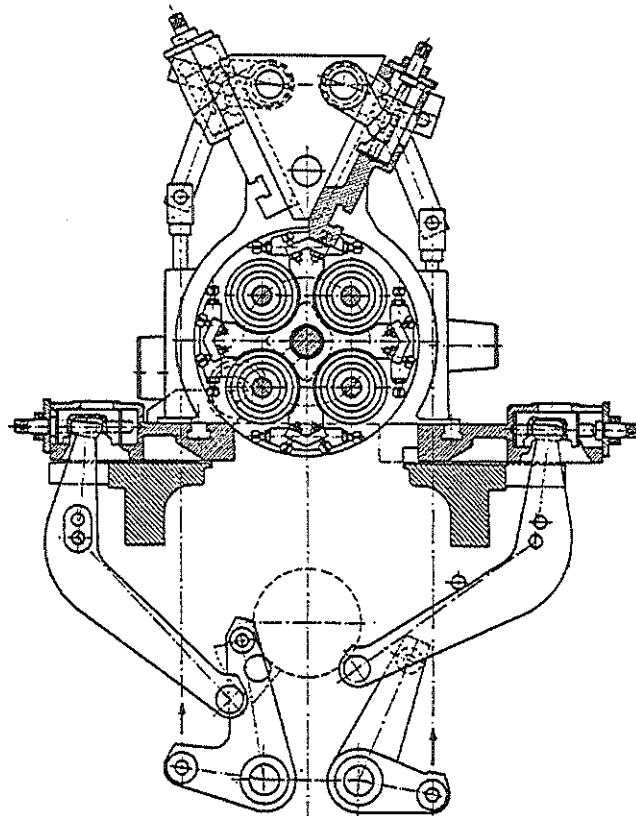


Figura 62 - Comandos dos carros transversais de um torno de 4 mandris.

Em frente ao cabeçote de mandris se localiza um carro porta-ferramenta de eixo longitudinal (avança axialmente à barra) provido de tantas ferramentas ou grupos de ferramentas quantos são os mandris porta-barras para a execução de usinagens como furação, torneamento cilíndrico etc.. Este carro emprega, durante o curso de trabalho, contemporaneamente todas as suas ferramentas sobre a barra oposta, de modo que em um curso de trabalho venham a se realizar todas as operações que constituem o ciclo. O número de operações ou grupos de operações deve corresponder ao número de mandris.

Ao término do recuo do carro, o cabeçote porta mandril gira $1/4$, $1/5$, $1/6$ de giro conforme o torno seja de 4,5 ou 6 mandris. Assim, a barra que sofre a primeira operação é levada por esta rotação para a estação seguinte, devendo, portanto, encontrar o grupo de ferramentas que executa a segunda operação e assim por diante. Dêsse modo, a cada $1/4$, $1/5$ ou $1/6$ de volta se cumpre um ciclo completo de trabalho. As operações de corte transversal e perfilamento são executadas pelos carros transversais.

Teoricamente, um torno de seis barras deveria produzir seis vezes a quantidade das mesmas peças produzidas por um torno de uma única barra. Na prática, tem-se reduções sobre a produção teórica de 15% aproximadamente.

2.1.5. Torno Copiador

Do ponto de vista funcional, os tornos copiadores poderiam ser considerados pertencentes à categoria dos tornos semi-automáticos, pelo fato de que a peça, ainda indefinida, depois de ter sido posicionada, é submetida à remoção do cavaco mediante uma ferramenta que se move automaticamente seguindo um perfil imposto por um padrão a ser copiado.

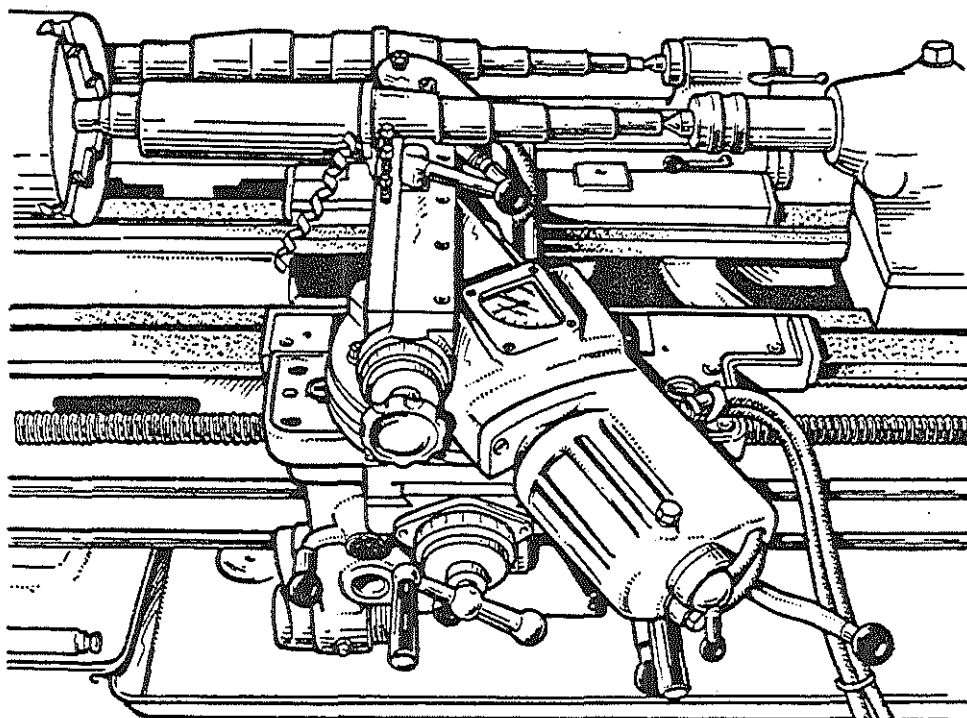


Figura 63 - Aparelho oleodinâmico para copiar, aplicado a um torno paralelo.

A ponta da ferramenta descreve uma linha que é resultante de dois movimentos: longitudinal e oblíquo dos dois carros. Estes tornos são empregados para produção em série de peças iguais, tais como eixos, pinos etc., que tenham superfícies cilíndricas, cônicas, esféricas etc., mesmo que unidas por degraus bruscos no plano normal ao eixo de rotação. A ferramenta remove constantemente o material do elemento em rotação, sem se afastar da peça, começando o torneamento da direita e seguindo para a esquerda até completar o curso útil da operação, não sendo necessário nenhum controle com calibres, nem dispositivos especiais.

O padrão a ser copiado pode ser de chapa (4mm mínimo) ou um exemplar da peça, e é montado entre duas contra-pontes fixas em suportes presos ao barramento do torno. O

aparelho copiador pode ser aplicado a um torno paralelo comum, como mostra a figura.

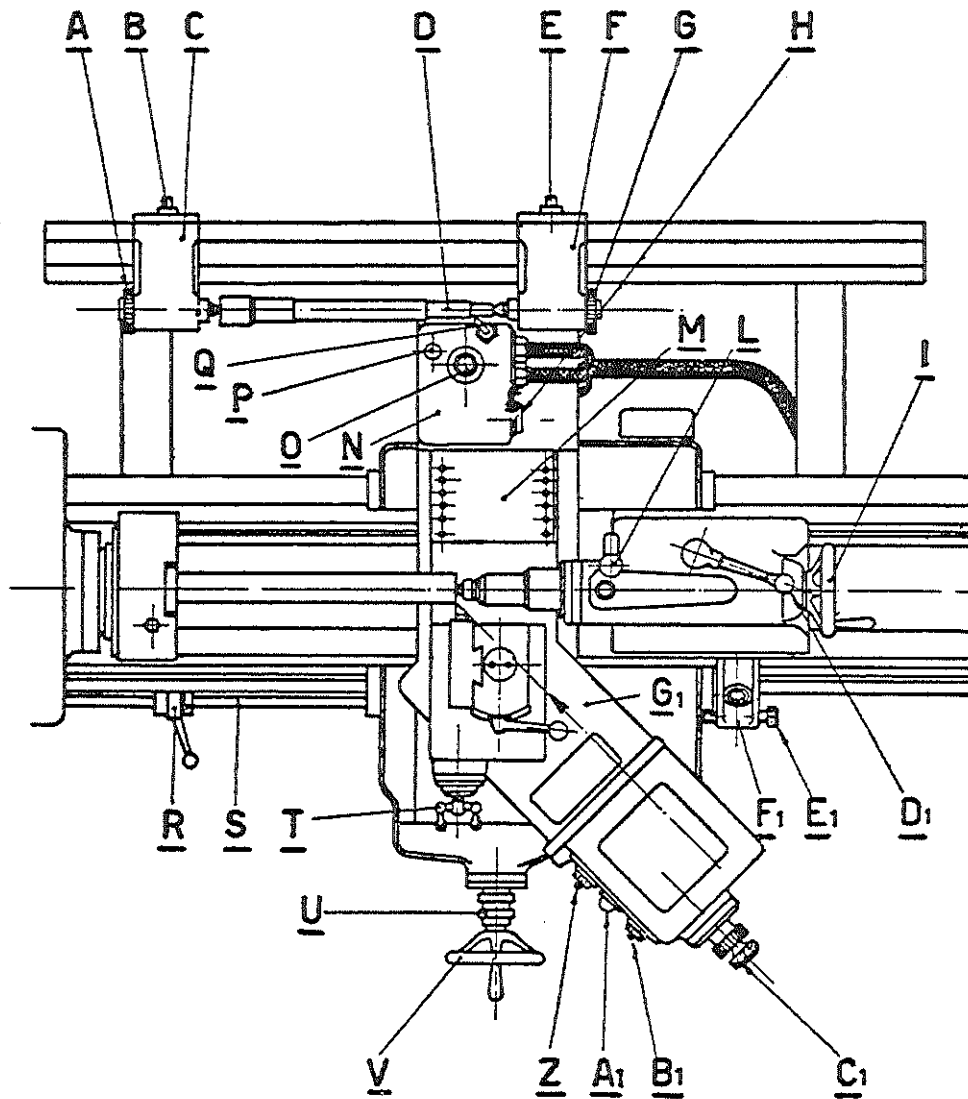


Figura 64 - Esquema do dispositivo hidrocopiador.

A,G - Volantes de regulagem das pontas porta-cópias; B,E - Parafusos; C,F - Suportes; D - Padrão a ser copiado; I - Volantes; L - Alavanca de travamento; M - Carro transversal; N - Dispositivo apalpador; O - Lâmpada para indicar contato do apalpador com o padrão; P - Porca; Q - Apalpador.

Como se vê, a peça a ser torneada é fixada entre as castanhas de uma placa autocentrante e sustentada pela contraponta; em correspondência com a peça, e paralelamente ao seu eixo de rotação, é situado o padrão a ser copiado D. Esta peça, como se vê, fica vinculada ao barramento e independente dos carros de translação.

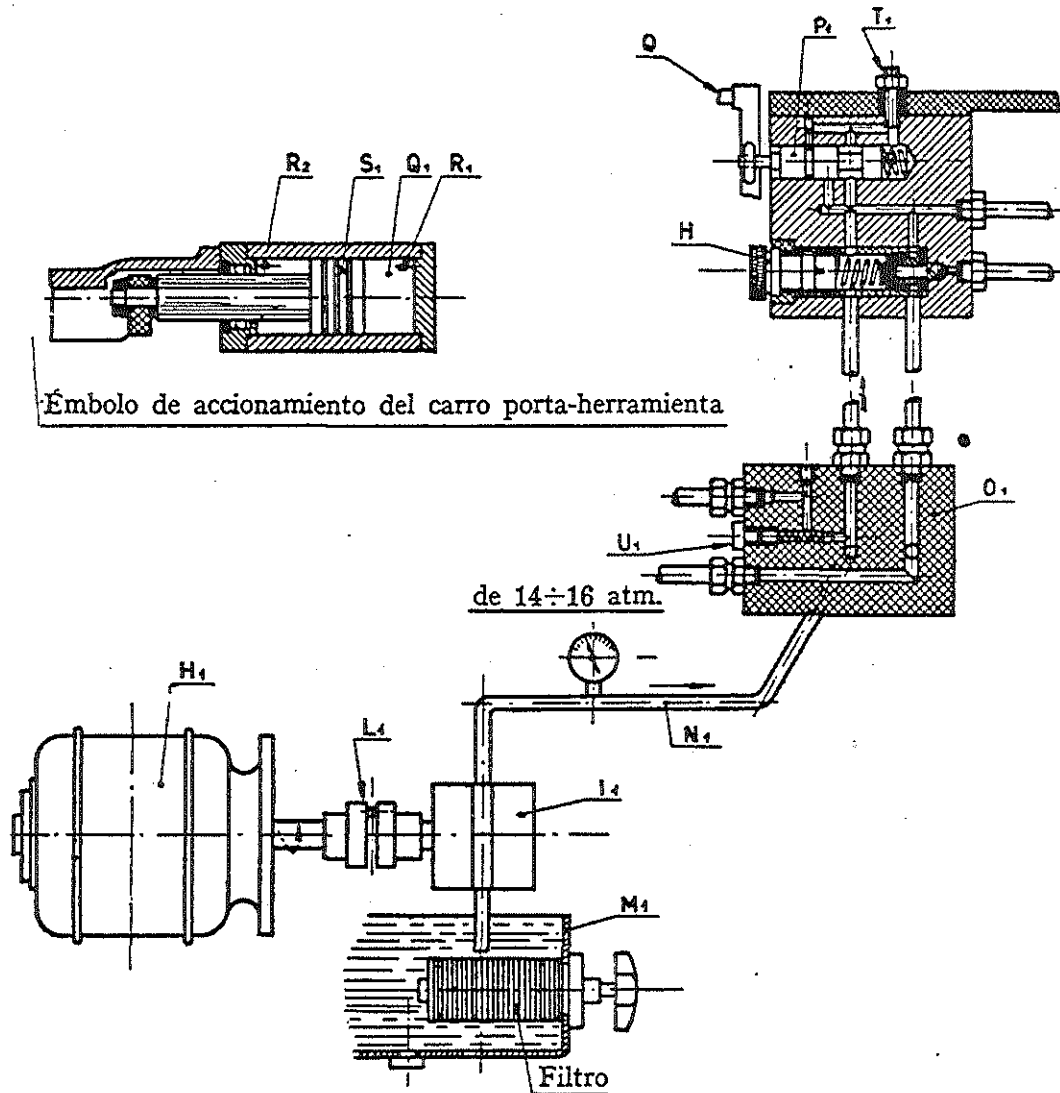


Figura 65 - Ilustração esquemática do sistema funcional do dispositivo hidrocopiador.

H₁ - Motor elétrico; I₁ - Bomba hidráulica; L₁ - Acomplamento; M₁ - Tanque; N₁ - Tubulação; O₁ - Bloco; P₁ - Pistão distribuidor; Q₁ - Cilindro; R₁ e R₂ - Orifícios de passagem; S₁ - Pistão; T₁ - Diafragma; U₁ - Regulador de velocidade; Q₁ - Apalpador.

• MONTAGENS TÍPICAS PARA USINAGEM EM TORNOS COPIADORES

O torneamento em tornos copiadores apresenta vantagens notáveis em relação ao torneamento comum, tais como:

- 1 - Reprodução perfeita de um sem número de peças iguais;
- 2 - Emprego de operador comum; e
- 3 - Redução do custo de operação.

Porém, o emprego de hidrocopiadores se limita a um comprimento torneado máximo de até 800 mm e curso transversal de 90 mm.

. Usinagem de um Pino

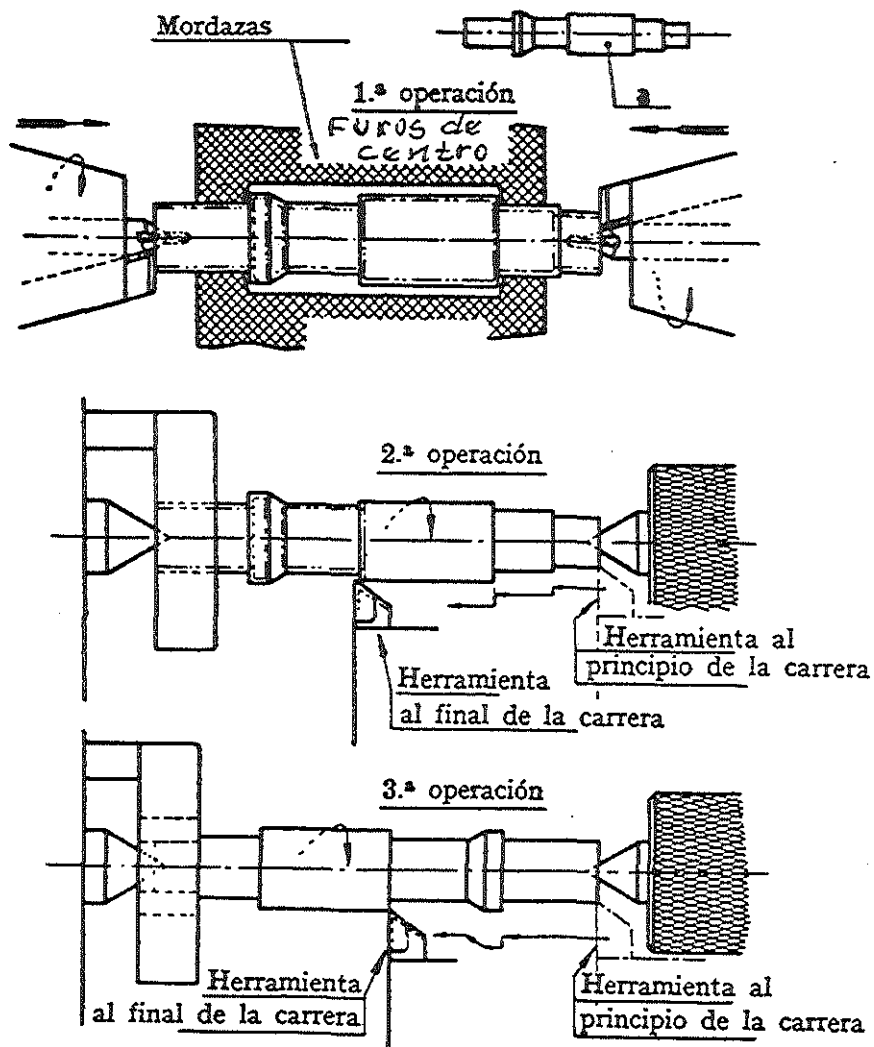


Figura 66 - Processo de usinagem para obter o pino desenhado em a.

• Usinagem de um Eixo para Alternador

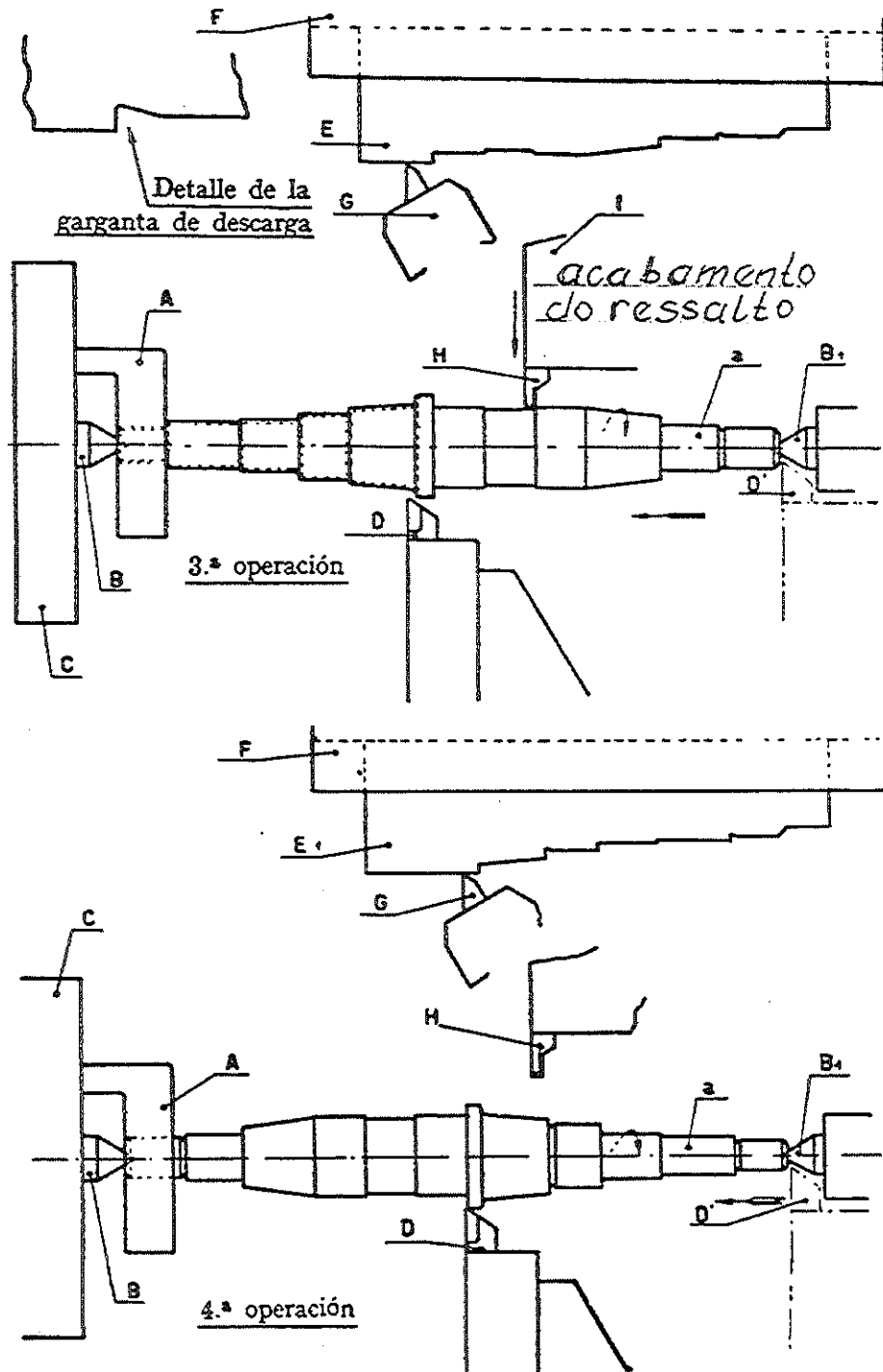


Figura 67 - Operação de torneamento realizáveis com o tórno hidro-copiador.

A - Placa de arrasto; B - Contra-ponta da placa; C - Placa, D - Ferramenta; E - Padrão a ser copiado feito de chapa; F - Porta-padrão; G - Apalpador; H - Ferramenta posterior; I - Carro posterior transversal.

2.1.6. Torno de Perfilar (Detalonador)

São tornos para perfilar dentes de fresas a perfil constante, caracóis para engrenagens, machos etc.. Esta perfilagem é necessária para evitar o roçamento do dente contra as superfícies trabalhadas da peça, gerando uma superfície de folga de forma que a cada afiação o perfil do dente se mantenha.

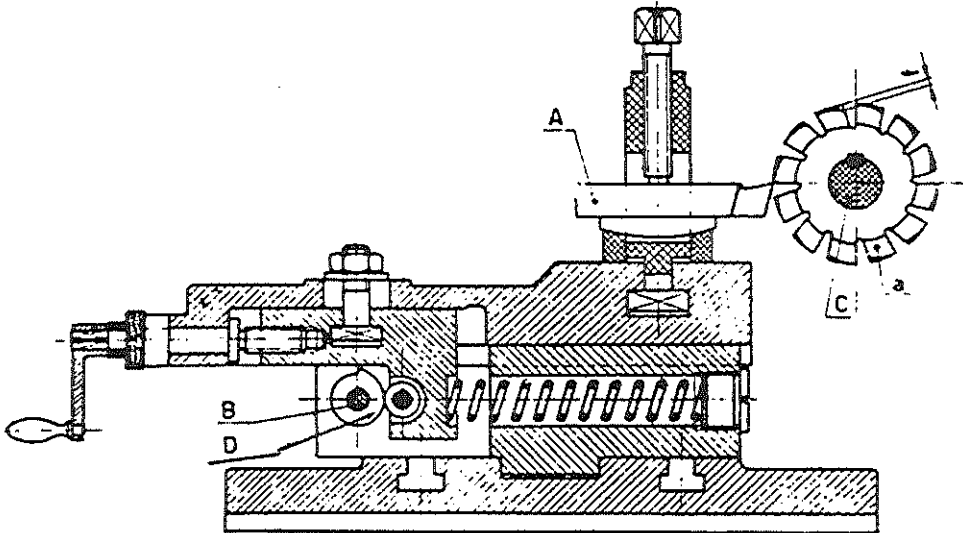


Figura 68 - Carro transversal de um torno de perfilar.

Estes tornos são bastante semelhantes aos tornos paralelos com a diferença que é necessário que o carro transversal seja comandado por um came D, tendo a finalidade de fazer avançar radialmente a ferramenta (prêsa ao carro) segundo uma certa progressão e depois retroceder bruscamente para levá-lo de novo para a posição de partida. O avanço gradual e o retorno brusco devem verificar-se ao passar de cada dente da ferramenta em usinagem. Para se obter tantos impulsos quantos são os dentes a perfilar é claro que se deve estabelecer uma relação entre o número de voltas do eixo B do came D e aquele do mandril C que leva a ferramenta.

Nestes tornos, como nos outros paralelos, é necessário trocar as engrenagens para obter várias alimentações do carro. Também o came D é intercambiável, a fim de proporcionar diferentes profundidades de perfilgem.

2.1.7. Torno Frontal (Platô)

São máquinas para tornear peças de grande diâmetro e de pequeno comprimento. Faz esta operação produzindo superfícies cilíndricas externas e superfícies cônicas, faceando superfícies frontais, cortando canais, usinando internamente etc..

Construtivamente, assemelha-se a um torno paralelo e consiste das seguintes partes mostradas na figura abaixo.

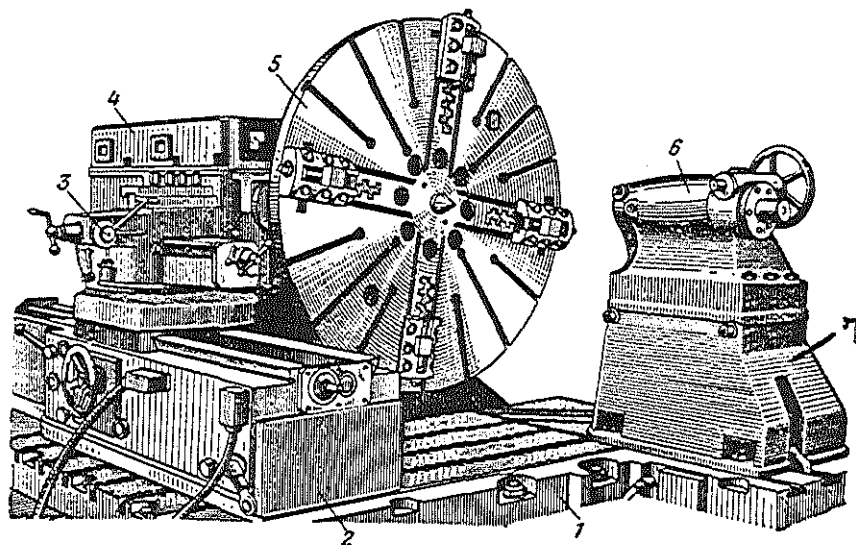


Figura 69 - Torno frontal.

- 1 - Base
- 2 - Barramento
- 3 - Carro porta-ferramenta
- 4 - Cabeçote
- 5 - Placa
- 6 - Cabeçote móvel
- 7 - Suporte

Encontram-se tornos frontais para peças de até quatro metros de diâmetro.

Tornos verticais e mandriladoras superam estas máquinas em desempenho e segurança, porém ainda são utilizadas em serviços de reparo e produção de peças.

2.1.8. Torno Vertical

Os tornos verticais são destinados a usinar peças de considerável peso e diâmetro em comparação com a sua altura.

Peças de menor porte (cerca de 1500 mm) como polias, engrenagens e volantes podem ser usinados em tornos compostos com uma estrutura de um único montante, como mostra a figura.

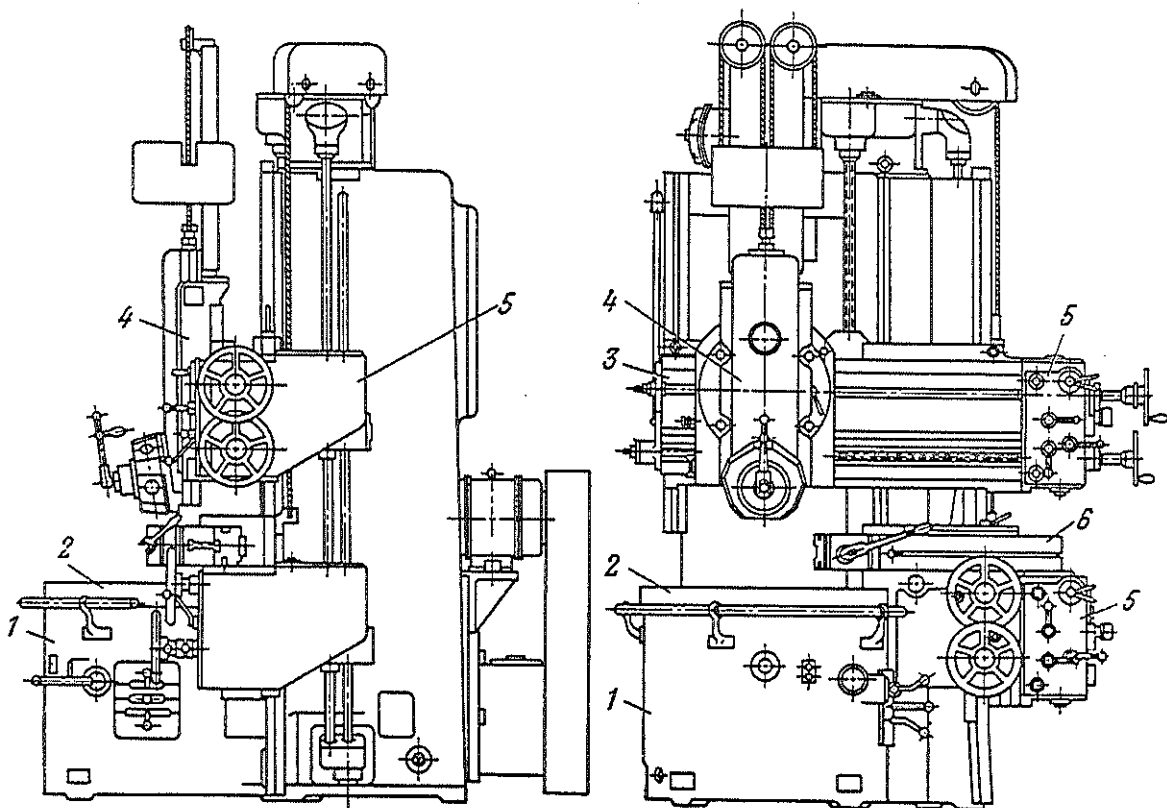


Figura 70 - Torno vertical de um montante.

1 - Base e coluna, 2 - Placa, 3 - Travessa, 4 - Suporte porta-ferramenta giratório com castelo, 6 - Suporte porta-ferramenta lateral, 5 - Comandos da placa e dos mecanismos de acionamento da travessa e portas-ferramenta.

A placa é acionada por um par cônico cujo pinhão sai de uma caixa de mudanças de velocidade acionada por um motor.

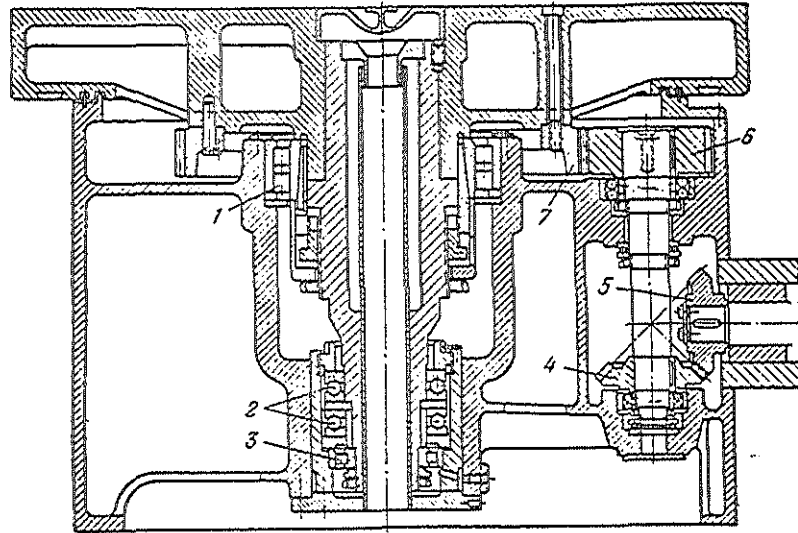


Figura 71 - Placa de um torno vertical.

Justificam-se os tornos verticais pela necessidade de tornear peças de grandes diâmetros como anéis de turbinas, grandes volantes, rodas denteadas e turbinas, as quais, pelo notável peso, podem ser melhor posicionadas sobre uma placa horizontal do que numa placa vertical. Constitui-se, para isto, tornos de grandes dimensões com estrutura em forma de pórtico (dois montantes), tendo opções com capacidade para montar peças de até 25 metros.

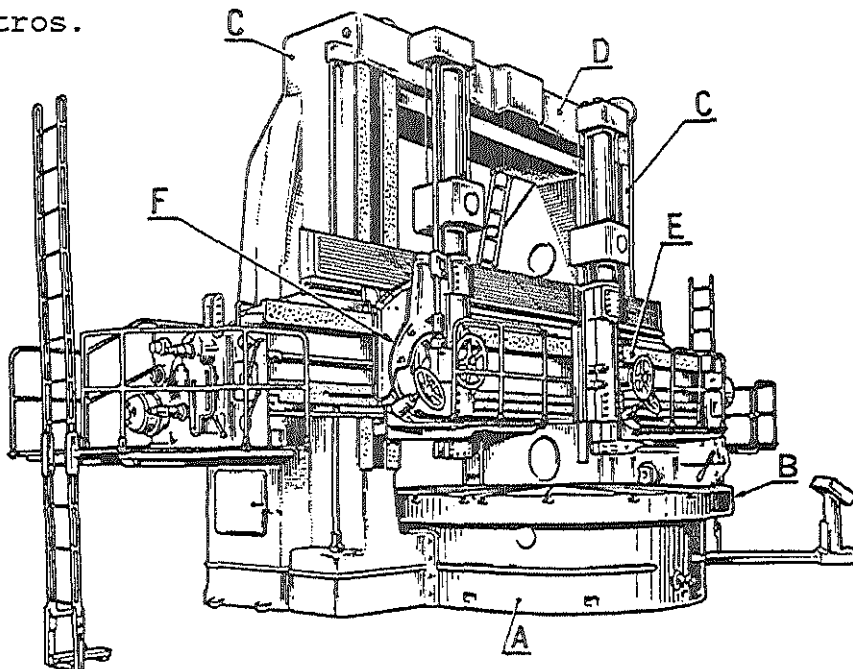


Figura 71 - Torno de dois montantes.

A - Base, B - Placa, C Montantes, D - Viga, E - Travessa móvel, F - Porta-ferramenta.

• MÉTODOS DE USINAGENS EM TORNOS VERTICAIS

Para salientar melhor as características dos tornos verticais, expõem-se uma sucessão de fases de uma mesma operação de torneamento, que acaba a peça sem desmontá-la da máquina.

Deve-se torneiar uma série de peças iguais a indicada na figura. Por causa de suas dimensões decidiu-se efetuar a operação de torneamento em torno VERTICAL. As fases desenvolvem-se na seguinte ordem:

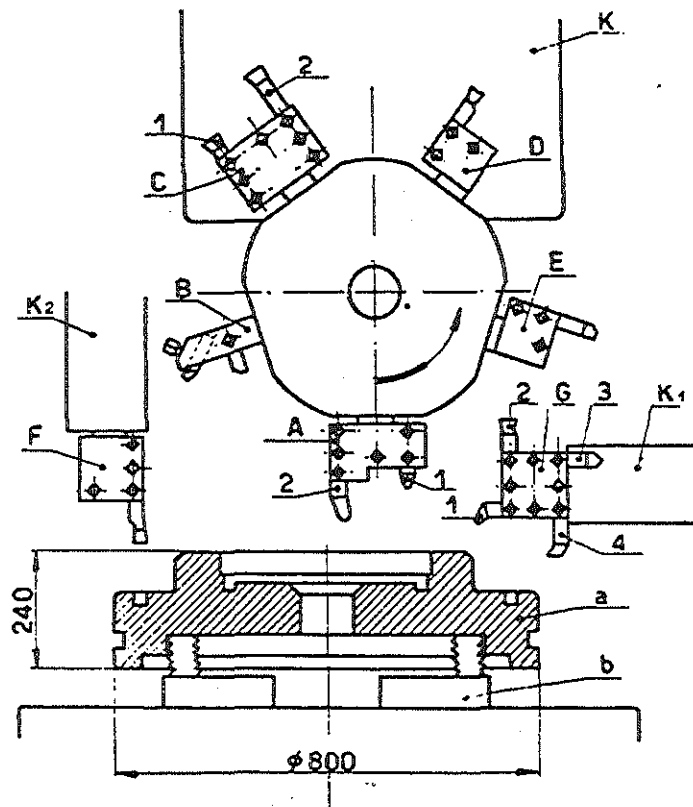


Figura 72 - Disposição das ferramentas sobre blocos dos carros de um torno vertical.

K - Carro vertical central, K1 - Carro transversal sobre o montante da direita, K2 - Carro vertical lateral.

- 1o. Tempo: a) Montagem da peça sobre a plataforma
b) Fixação das peças pela castanha b
e) Arranque da placa e das varas.
- 2o. Tempo: a) Aproximação rápida dos carros K e K1, no sentido da peça;
b) Torneamento de desbaste da borda superior e do fundo da câmara com as ferramentas 1 e 2 do bloco A;
c) Torneamento das duas faixas laterais, e da relativa coroa, com a ferramenta 1 do bloco G.

As fases b e c processam-se simultâneamente.

- d) Recuo rápido dos carros K e K1.

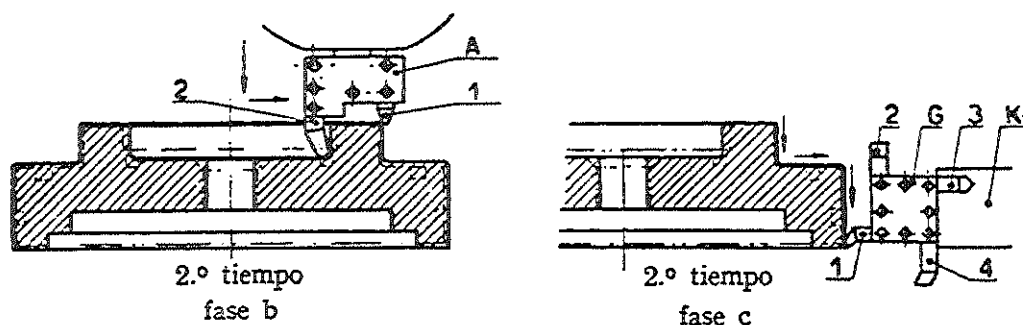


Figura 72 - Operação em torno vertical.

- 3o. Tempo: a) Rotação de 1/5 de volta para apresentação do porta-ferramenta B do carro K.
b) aproximação rápida do carro K
c) Torneamento do furo central e chanframento com as ferramentas do mandril B do castelo central
d) Recuo rápido do carro K.

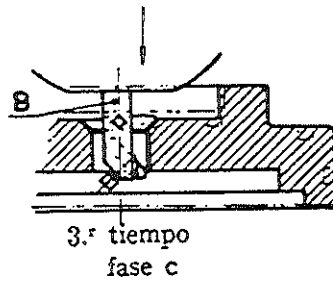


Figura 73 - Operação em torno vertical.

- 4o. Tempo: a) Rotação, de 1/5 de volta, do castelo central para apresentação do porta-ferramenta C.
b) Rotação, de 1/4 de volta, do castelo G, sobre o carro K1 para apresentação da ferramenta 2.
c) Aproximação rápida dos carros K, K1 e K2.
d) Torneamento de acabamento da borda superior e do fundo de câmara com as ferramentas 1 e 2 do bloco C.
e) Torneamento do canal sobre a faixa maior com a ferramenta 2 do castelo G.
f) Torneamento do canal superior com a ferramenta do bloco F do carro K2.

As fases d, e, f processam-se simultâneamente.

- g) Recuo rápido dos carros K, K1 e K2.

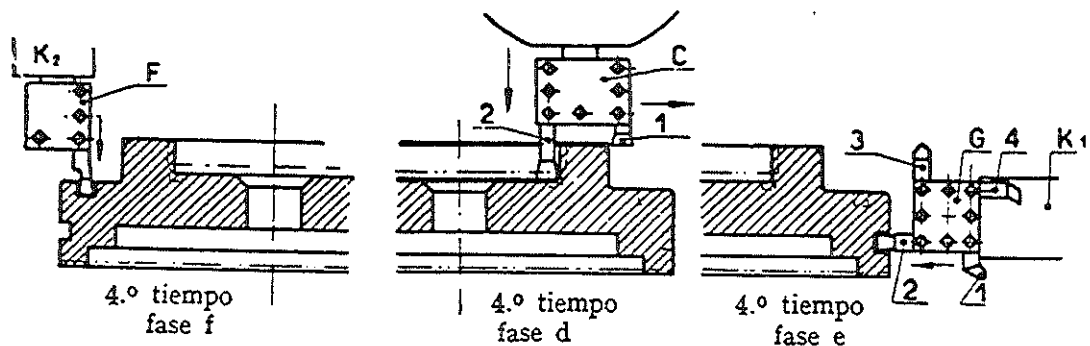


Figura 74 - Tempo e fases de processamento.

- 5o. Tempo: a) Rotação de 1/5 de volta do castelo para apresentação do porta-ferramenta D.
- b) Rotação de 1/4 de volta do bloco G, sobre o carro K1, para apresentação da ferramenta 3.
- c) Aproximação rápida dos carros K e K1.
- d) Torneamento da superfície lateral da câmara, segundo os dois diâmetros, com as ferramentas do bloco D.
- e) Torneamento do chanfro, sobre a borda superior, com a ferramenta 3 do bloco G.

As fases d, e acontecem ao mesmo tempo.

- f) Recuo rápido dos carros K e K1.

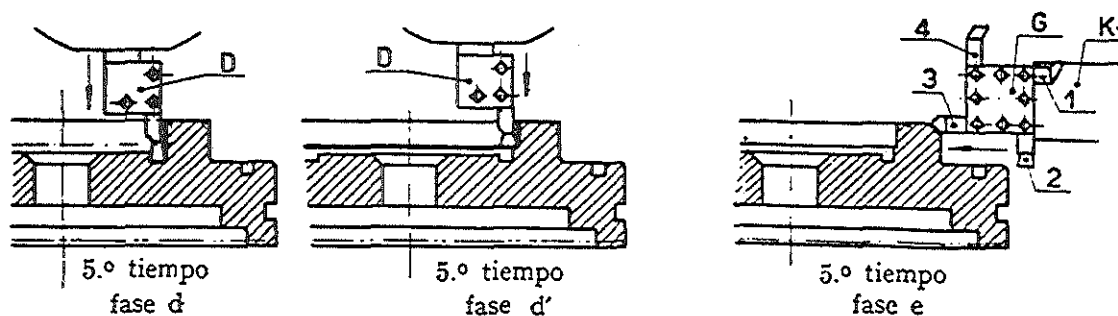


Figura 75 - Fases do 5o. Tempo.

- 6o. Tempo: a) Rotação de 1/5 de volta do castelo central, para apresentação do bloco porta-ferramenta E.
- b) Rotação de 1/4 de volta do porta-ferramenta G, sobre o carro K1, para apresentação da ferramenta 4.
- c) Aproximação rápida dos carros K e K1.
- d) Torneamento de aresta de raio, na câmara, com auxílio da ferramenta do bloco E.
- e) Torneamento da coroa frontal inferior com a ferramenta 4 do bloco G.

As fases d, e são feitas simultâneamente.

- f) Recuo rápido dos carros K e K1.

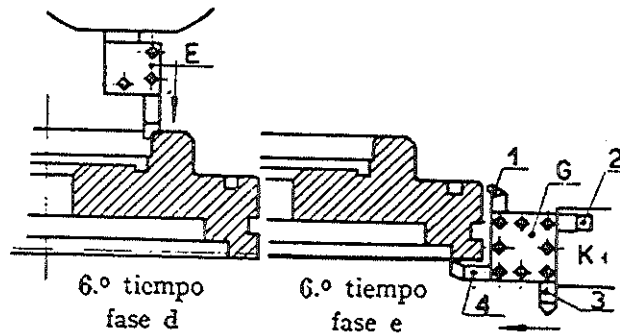


Figura 76 - Fases do 6o. Tempo.

- 7o. Tempo:
- a) Rotação de 1/5 de volta do castelo central, para apresentação do bloco A.
 - b) Rotação de 1/4 de volta, do bloco G, sobre o carro K1, para apresentação da ferramenta 1.
 - c) Soltura das castanhas b.
 - d) Desmontagem da peça.

2.1.9. Ferramentas para Tornear

A forma das ferramentas empregadas em torno é relativamente simples. É, normalmente, monocortante e constituída por uma barra de seção quadrangular, retangular ou arredondada de aço ao carbono (1040), tendo uma extremidade em forma de gume. Esta parte chama-se "bico" (ou ponta) e a restante "haste" (ou espiga).

As ferramentas, por serem diferentes entre si, adquirem diversas denominações que dependem:

- 1 - da forma do bico (unha, de corte, de passe);
- 2 - da forma da haste (reta, de pescoço, arqueada);
- 3 - da posição da aresta cortante em relação ao eixo da haste (direita, esquerda, simétrica, etc.);

4 - do grau de usinagem de superfície que a ferramenta deve usinar (desbaste ou acabamento);

as ilustrações a seguir mostram estas diferenciações..

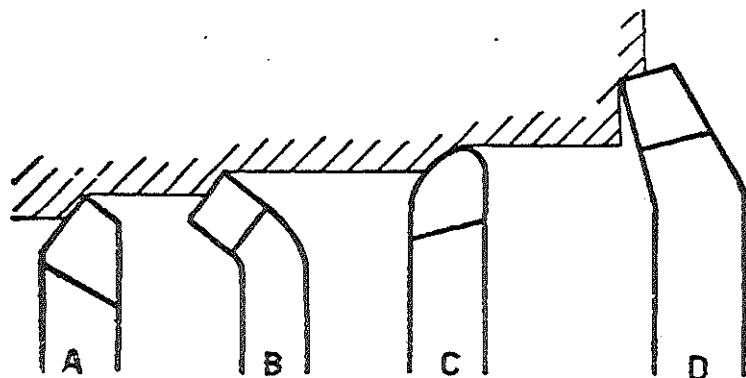


Figura 77 - Forma de ferramentas para desbaste externo.

A - reta, direita, de passe; B - arqueada, direita, de passe; C - tipo sapato, direita, de passe; D - arqueada, direita, para as cabeças.

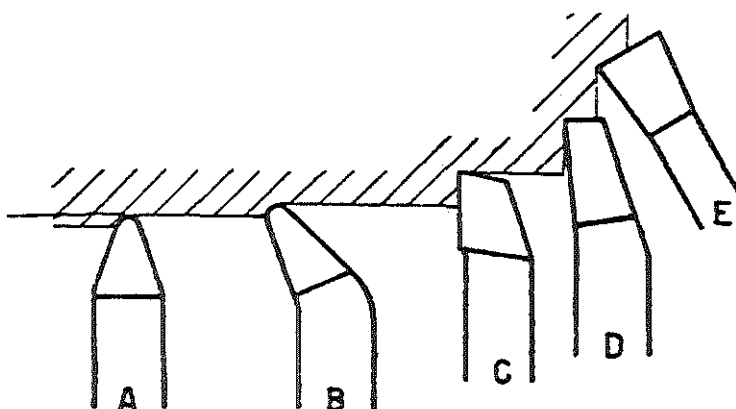


Figura 78 - Forma de ferramentas para acabamento externo.

A - de unha, simétrica, de passe; B - de unha, simétrica, de passe; C - de faca, direita, para ressaltos; D - de faca, direita, para as cabeças; E - de chinelo, para as cabeças.

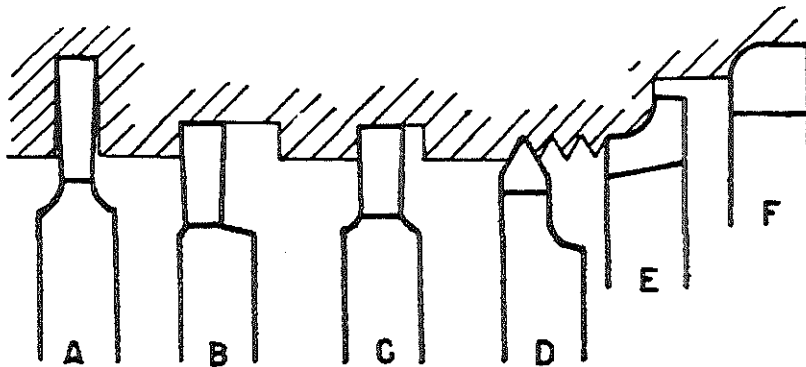


Figura 79 - Ferramentas para torneamento externo.

A - de corte, central; B - para entalhes, direita; C - para entalhes, central; D - para rosquear, direita; E - para concordâncias convexas; F - para concordâncias côncavas.

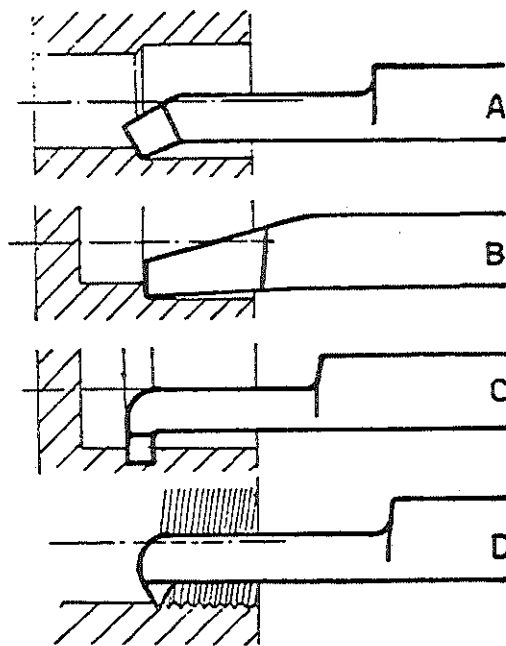


Figura 80 - Ferramentas para torneamento interno.

A - arqueada, direita, para furos passantes; B - reta, direita, para furos cegos; C - de machado, para cavidades; D - de gancho, para abrir roscas em furo passante.

A seção da haste deve ser suficientemente robusta para resistir o momento fletor devido a força que se produz sobre a aresta cortante. Uma regra usual é que a área da seção da haste deve ser de 80 a 100 vezes a área do cavaco (profundidade de corte x avanço).

As dimensões das hastes são normalizadas como exemplificado a seguir (DIN).

HASTES PARA FERRAMENTAS DE TORNO					
Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)
10	10	100	10	16	125
12	12	110	12	20	140
16	16	140	16	25	180
20	20	160	20	32	220
25	25	200	25	40	280
40	40	315	40	63	355
50	50	355	50	80	450
63	63	400			

2.1.9.1. Geometria da ponta de corte da ferramenta

As figuras a seguir ilustram o bico de uma ferramenta genérica mostrando as suas principais características.

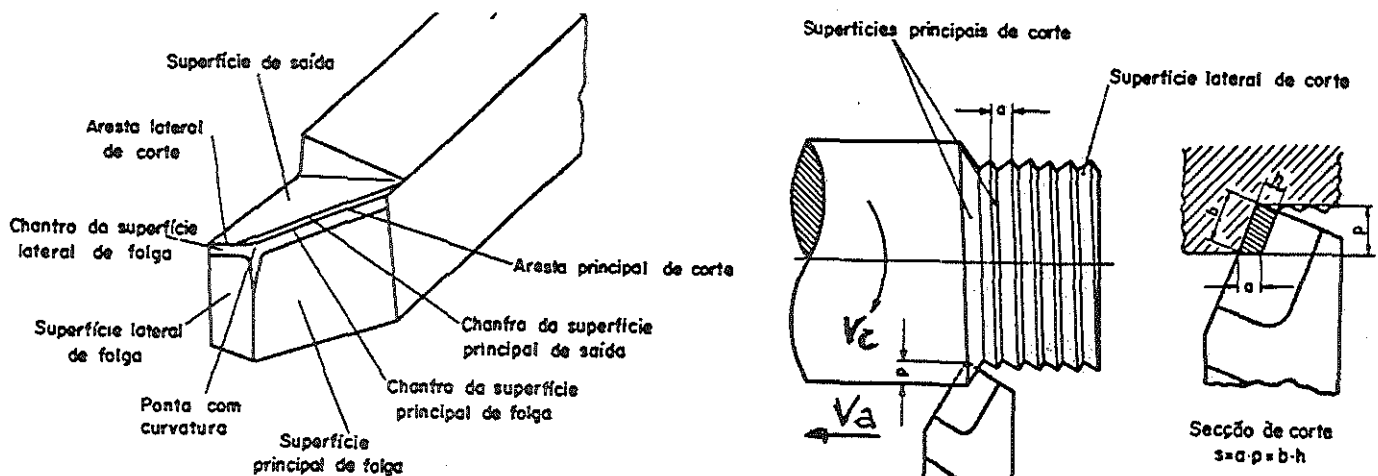


Figura 81 - Superfícies, arestas e ponta de uma ferramenta.

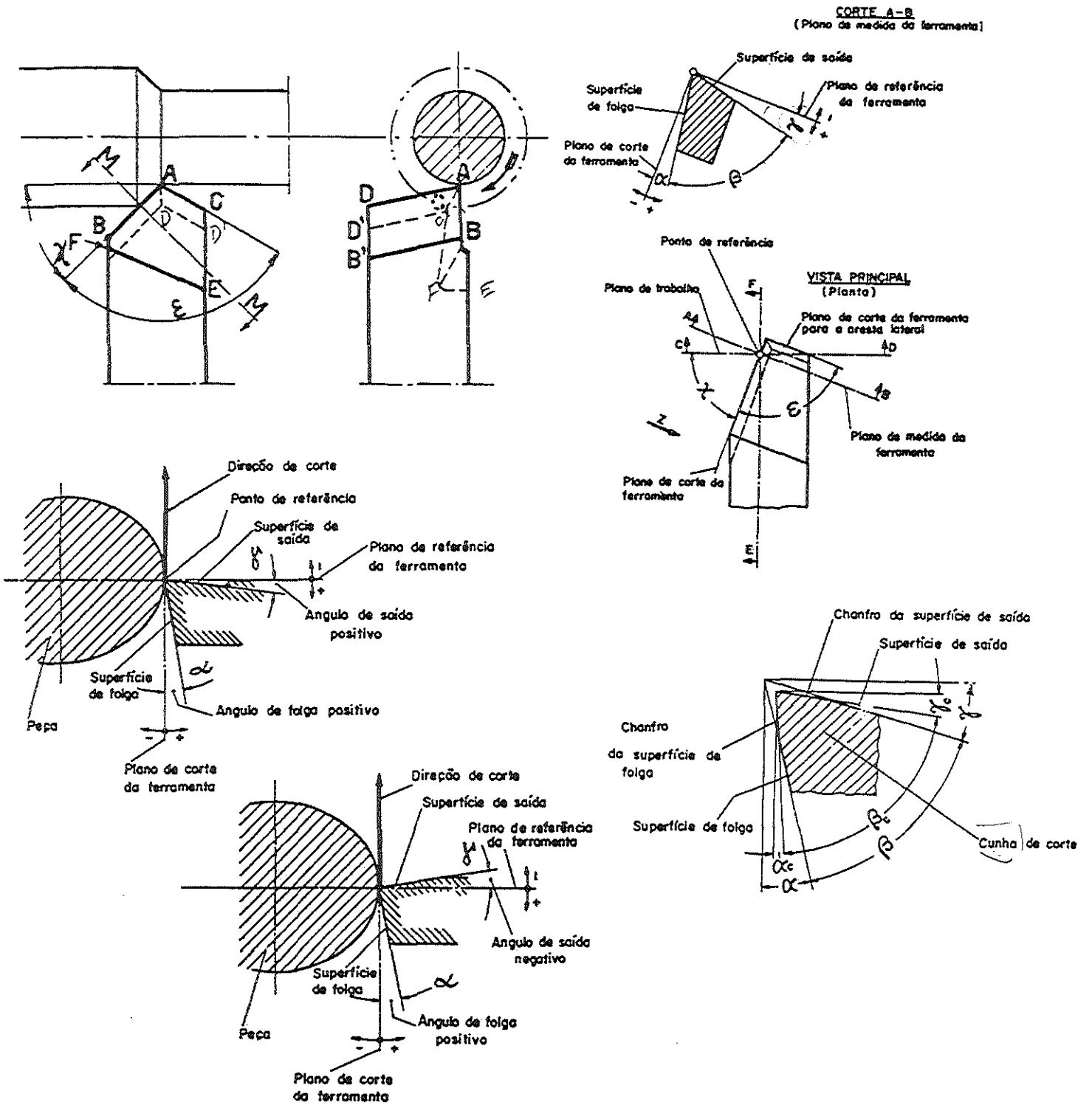


Figura 82 - Ângulos da ferramenta.

Em geral pode-se afirmar que a escolha dos ângulos de uma ferramenta depende:

- a) da qualidade do material a ser removido;
- b) da qualidade do material que constitui a ferramenta;
- c) da classe de usinagem, ou seja, se é desbaste ou acabamento;
- e) das condições de trabalho (refrigeração, lubrificação, etc.).

Pode-se, entretanto, fazer algumas considerações sobre alguns ângulos.

• ÂNGULO DE CUNHA β

Depende, quanto à sua amplitude, da dureza do material a ser removido. A primeira vista poderia parecer que quanto mais agudo for este ângulo, tanto mais fácil seria a remoção do cavaco; poderia parecer em outros termos, que uma maior agudez do ângulo de cunha, sem levar em conta a qualidade do material a ser removido, garantiria uma maior penetração com um mínimo de esforço. De fato isto acontece com os materiais leves, porque opõem escassa resistência.

Se pensarmos em empregar uma tal ferramenta com um ângulo de corte agudo, para remover materiais duros, ou tenazes, encontraríamos os seguintes inconvenientes:

- 1o. - Perda rápida do fio de corte, que não está em condições de suportar nem a elevada temperatura provocada pelos atritos, nem a pressão de corte devida a forte resistência aposta pelo material;
- 2o. - Quebra sucessiva do bico da ferramenta, porque a sua seção sendo reduzida por causa da agudeza do ângulo de cunha β , não permite que resista aos esforços que recebe.

Partindo das razões expostas, chega-se a conclusão aposta, isto é, de aumentar o ângulo de cunha β , com a evidente

vantagem de diminuir os efeitos de corrosão do fio cortante e de aumentar a seção resistente do bico.

• ÂNGULO DE SAÍDA γ

Este ângulo também está relacionado com a dureza do material a ser arrancado. Ao aumentar este ângulo, diminui o esforço de deformação e o trabalho de separação do cavaco da peça. Neste caso, pareceria conveniente atribuir ao γ um valor alto, de modo a reduzir a força total necessária para a usinagem. Isto, porém, não é aconselhável, pois, aumentando γ diminui β e volta-se a cair nos mesmos inconvenientes antes citados.

Conclui-se, que para os materiais leves, o valor do ângulo γ deve ser máximo, para os materiais muito duros o valor deve aproximar-se de zero, de forma a proporcionar maior resistência ao bico, principalmente em operações de desbaste.

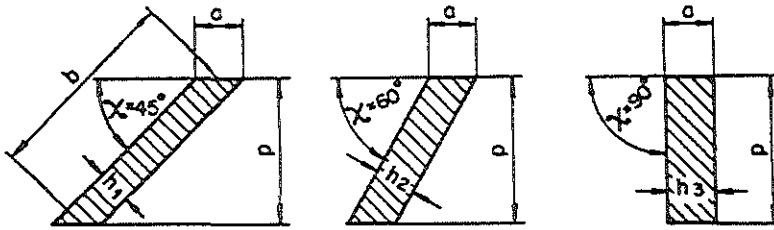
Também, o material que constitui a ferramenta, tem a sua influência na escolha do ângulo γ , pois, aumentando a dureza, aumenta a fragilidade; neste caso, também, é conveniente a adoção de γ pequeno.

• ÂNGULO DE FOLGA α

É necessário para garantir uma boa penetração e evitar o roçamento de superfície principal de folga da ferramenta contra a peça em usinagem. Convém manter α o menor possível, desde que seja suficiente para evitar os perigos de agarramento da ferramenta e vibrações.

• ÂNGULO DE POSIÇÃO χ

Uma diminuição de χ para o mesmo avanço e a mesma profundidade de corte, acarreta uma diminuição da espessura de corte h e ao mesmo tempo um aumento do comprimento de corte b .



Por outro lado, esta variação de χ permite maior vida da ferramenta ou um aumento da velocidade de corte, pois além de resultar melhor distribuição de temperatura de corte em um trecho de ferramenta bem maior, haverá uma sollicitação mecânica por unidade de comprimento da aresta cortante menor. Por outro lado, aumentando a extensão de contato da aresta cortante aumenta a probabilidade de ocorrer vibrações que comprometem o resultado da operação.

• ÂNGULO DE PONTA ϵ

Não influi no resultado da usinagem, nem na grandeza dos esforços de corte; entretanto, tem importância na resistência que proporciona ao bico e pela dispersão do calor produzido.

Os valores aconselhados para estes ângulos são encontrados em normas conforme as influências que existem devido ao material a ser usinado, material de ferramenta, tipo de usinagem etc..

2.1.9.2. Seleção do material da ferramenta

Em resumo, procura-se encontrar nos materiais para ferramenta três características básicas:

- a) resistência ao desgaste;
- b) tenacidade (ductibilidade + resistência elástica), e
- c) dureza a quente.

Estas qualidades se encontram em alguns materiais que podem ser agrupados da seguinte maneira:

- 1) aços-carbono para ferramenta, sem elementos ou liga ou com baixos teores de liga;
- 2) aços rápidos;
- 3) ligas fundidas;
- 4) metal duro, e
- 5) materiais cerâmicos.

Outros materiais, como o diamante, podem ser usados para ferramenta de usinagem, porém têm emprego limitado a casos especiais. A figura a seguir ilustra a diferença de desempenho entre alguns materiais.

É óbvio que a seleção da dureza em função da temperatura utilizada em uma ferramenta de corte depende de uma série de fatores, entre os quais pode-se mencionar as seguintes:

- material a ser usinado;
- natureza da operação;
- condição da máquina operatriz;
- forma e dimensão da ferramenta;
- custo do material da ferramenta;
- emprego de refrigeração ou lubrificação, etc..

Os materiais que, hoje em dia, constituem os grupos mais importantes são os aços rápidos e o metal duro.

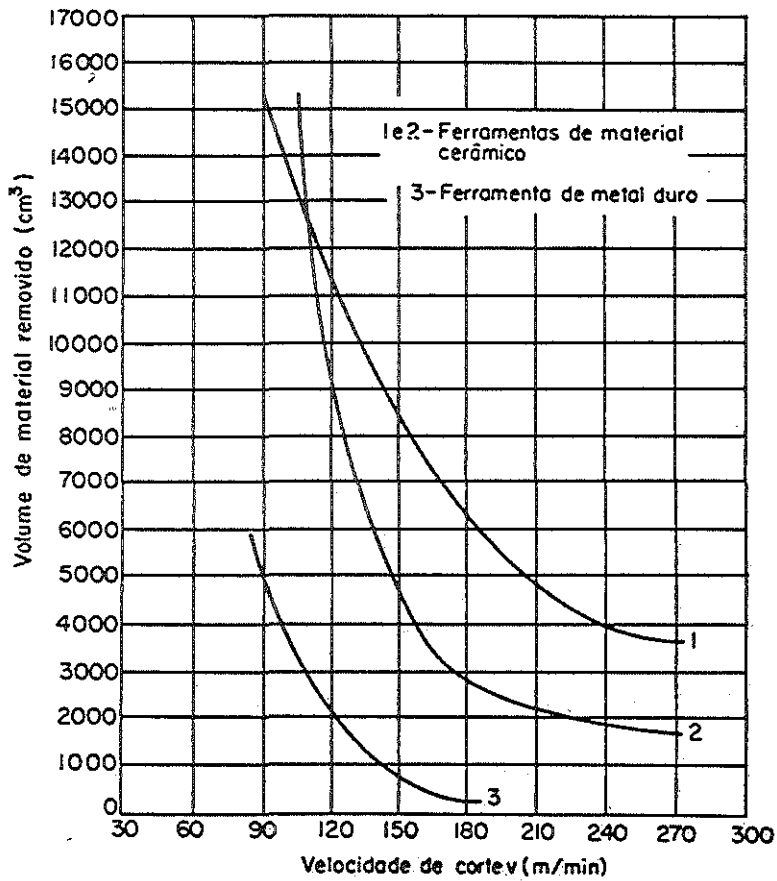
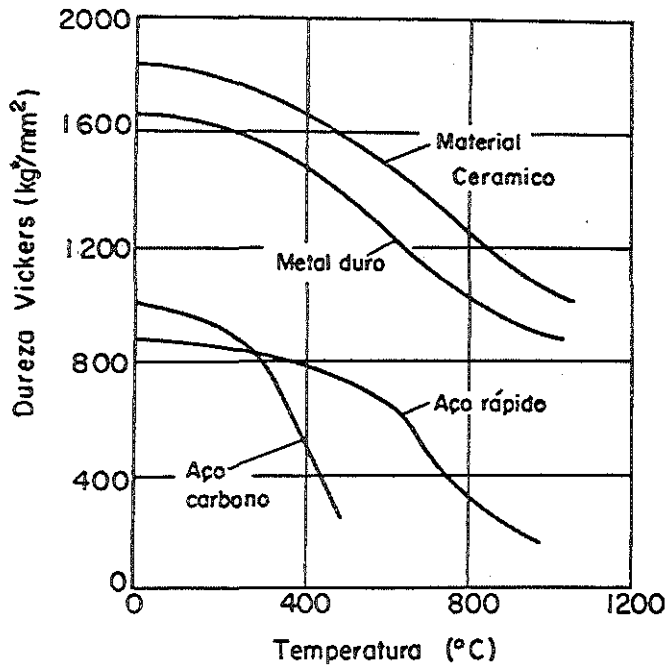


Figura 83 - Variação da dureza em função da temperatura. e diferença de desempenho

• FERRAMENTAS DE AÇOS RÁPIDOS

Os aços rápidos são ligas Fe-C altamente ligadas com metais como cromo, vanádio, tungstênio, molibdênio e cobalto que, juntamente tratamento térmico, lhes conferem propriedades especiais. As tabelas a seguir mostram algumas características dos aços rápidos, segundo a classificação do AISI, sendo as mais usadas as classes 610, 611, 620, 621, 622, 623, 630, 631, 650, 651, 652 e 653.

Os aços de alto C e alto V são chamados também de aços super-rápidos, e apresentam maior resistência ao desgaste. O vanádio, igualmente, aumenta acentuadamente a dureza a quente, fator que, evidentemente, aliado à alta resistência ao desgaste, contribui para melhorar sua capacidade de corte. Por outro lado, torna o material mais difícil de ser trabalhado.

As ferramentas de aço rápido são cada vez menos usadas em torneamento. Geralmente, é utilizado em forma de pequenas barras quadradas normalizadas (bits) ou finas barras chatas (bedames) com uma ponta afiada. São montadas por fixação em suportes que são fixados nos portas-ferramenta dos tornos.

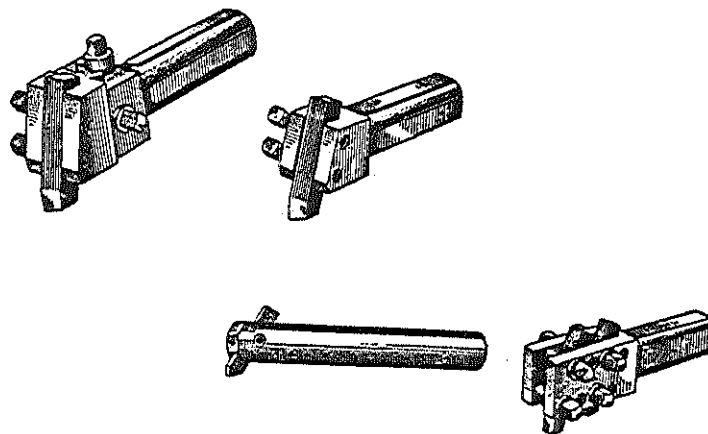


Figura 84 - Suporte de ferramenta com bit.

Classificação dos aços rápidos segundo o "American Iron and Steel Institute" (AISI)

Classe	AISI	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co	Outros
<i>Classe 610 (tipos ao tungstênio)</i>										
610	T 1	0,70/0,75	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,10	1,00/1,20	18,00/18,25	0,70 (opc.)	—	—
611	T 2	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	2,00/2,15	18,00/18,50	0,50/0,75 (opc.)	—	—
612	T 2	0,95/0,98	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	2,00/2,15	18,00/18,50	0,50/0,75 (opc.)	—	—
613	—	0,97/1,03	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	2,80/3,20	13,50/14,50	0,65/0,85	—	—
614	—	1,08/1,13	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	2,90/3,30	18,00/18,50	0,70/0,90	—	—
615	T 9	1,22/1,28	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	3,75/4,25	18,00/18,50	0,75 (opc.)	—	—
616	T 7	0,70/0,75	0,10/0,40	0,10/0,40	4,50/5,00	1,50/1,80	13,50/14,50	—	—	—
<i>Classe 620 (tipos ao W — Co)</i>										
620	T 4	0,70/0,75	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,00/1,25	18,00/19,00	0,60/0,70 (opc.)	4,75/5,25	—
621	T 5	0,77/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,85/2,00	18,50/19,00	0,65/1,00 (opc.)	7,60/9,00	—
622	T 6	0,75/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,60/2,00	18,75/20,50	0,60/0,80	11,50/12,25	—
623	T 15	1,50/1,60	0,10/0,40	0,10/0,40	4,50/4,75	4,75/5,00	12,50/13,50	0,50 (opc.)	4,75/5,25	—
624	T 8	0,75/0,80	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	2,00/2,25	13,75/14,00	0,75	5,00/5,25	—
<i>Classe 630 (tipos ao Mo)</i>										
630	M 1	0,78/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,00	1,00/1,25	1,50/1,65	8,00/9,00	—	—
631	M 10	0,85/0,90	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	1,90/2,10	—	8,00/8,50	—	—
632	M 7	0,97/1,03	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,00	1,90/2,10	1,50/1,75	8,50/8,75	—	—
<i>Classe 640 (tipos ao Mo — Co)</i>										
640	M 30	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	1,10/1,40	1,50/1,80	8,25/8,50	4,75/5,25	—
641	M 34	0,87/0,93	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,85/2,25	1,30/1,60	8,45/8,95	8,00/8,50	—
642	—	0,56/0,62	0,10/0,40	0,10/0,40	4,75/5,25	1,10/1,40	—	7,75/8,25	2,30/2,70	0,25 B
643	—	0,55/0,60	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,60/1,90	1,65/1,75	8,15/8,50	8,00/8,50	0,50 B
644	M 33	0,85/0,95	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,00/1,30	1,30/1,70	9,25/9,75	7,75/8,25	—
645	M 33	1,05/1,10	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,05/1,25	1,30/1,70	9,25/9,75	7,75/8,25	—
<i>Classe 650 (tipos ao W — Mo)</i>										
650	M 2	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	1,70/2,10	6,00/6,50	4,75/5,25	—	—
651	M 3	1,00/1,10	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	2,40/2,55	6,00/6,25	5,70/6,25	—	—
652	(tipo 1) M 3	1,10/1,20	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	3,00/3,30	5,60/6,25	5,00/6,25	—	—
653	(tipo 2) M 4	1,25/1,30	0,10/0,40	0,10/0,40	4,25/4,50	3,75/4,25	5,50/6,00	4,50/4,75	—	—
654	—	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,35/1,65	5,25/5,75	4,30/4,70	—	1,10/1,40 Nb
<i>Classe 660 (tipos ao W — Mo — Co)</i>										
660	M 35	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	3,90/4,40	1,75/2,15	6,15/6,65	4,75/5,25	4,75/5,25	—
661	M 36	0,80/0,90	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	1,65/2,00	5,50/6,00	4,25/5,25	7,75/9,00	—
662	M 6	0,75/0,80	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	1,25/1,55	3,75/4,25	4,75/5,25	11,50/12,50	—
663	M 15	1,50/1,60	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,75	4,75/5,25	6,25/6,75	3,00/5,00	4,75/5,25	—
664	—	1,20/1,30	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	4,00/4,50	9,50/10,50	2,30/2,70	5,25/5,75	—
665	—	1,05/1,15	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,80/2,20	6,50/7,00	3,50/4,00	4,75/5,25	—

Figura 85 - Classificação dos aços rápidos segundo a American Iron and Steel Institute (AISI).

Propriedades gerais dos aços rápidos

Tipo	AISI	Fatores mais importantes			Fatores de menor importância				
		Resist. ao desgaste	Tenacidade	Dureza a quente	Dureza de serviço usual RC	Prof. de endurecimento	Tamanho de grão mais fino à máx. Dureza Shepherd	Dureza superficial no estado temperado RC	Dureza do núcleo (1" dia.) RC
<i>Classe 610 — ao tungstênio</i>									
610 X	T 1	7	3	8	63/66	Grande	9.1/2	64/66	64/66
611 X	T 2	8	3	8	63/66	"	9.1/2	65/67	65/67
612	T 2	8	2	8	63/66	"	9.1/2	65/67	65/67
613	—	8	2	8	63/66	"	9.1/2	65/67	65/67
614	T 3	8	2	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
615	T 9	9	2	8	63/67	"	9.1/2	65/67	65/67
616	T 7	7	2	8	63/65	"	9.1/2	65/67	65/67
<i>Classe 620 — ao tungstênio-cobalto</i>									
620 X	T 4	7	2	8	63/66	Grande	9.1/2	63/66	63/66
621 X	T 5	7	1	9	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
622 X	T 6	8	1	9	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
623 X	T 15	9	1	9	64/68	"	9.1/2	65/68	65/68
624	T 8	8	2	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
<i>Classe 630 — ao molibdênio</i>									
630 Y	M 1	7	3	8	63/66	Grande	9.1/2	64/66	64/66
631 X	M 10	7	3	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
632	M 7	8	3	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
<i>Classe 640 — ao molibdênio-cobalto</i>									
640	M 30	7	2	8	63/66	Grande	9.1/2	64/66	64/66
641	M 34	8	1	9	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
642	—	8	1	8	63/66	"	8	62/65	62/65
643	—	8	1	9	63/66	"	8	62/65	62/65
644	M 33	8	1	9	66/69	"	9.1/2	64/66	64/66
645	M 33	8	1	9	67/70	"	9.1/2	63/65	63/65
<i>Classe 650 — ao tungstênio-molibdênio</i>									
650 X	M 2	7	3	8	63/66	Grande	9.1/2	64/66	64/66
651 X	M 3	8	3	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
652 X	M 3	8	3	8	63/66	"	9.1/2	64/66	64/66
653 X	M 4	9	3	8	63/66	"	9.1/2	65/67	65/67
654	M 8	7	3	8	63/65	"	9.1/2	64/66	64/66
<i>Classe 660 — ao tungstênio-molibdênio-cobalto</i>									
660	M 35	7	2	8	63/67	Grande	9.1/2	64/66	64/66
661	M 36	7	1	9	63/67	"	9.1/2	64/66	64/66
662	M 6	7	1	9	63/66	"	9.1/2	63/65	63/65
663	M 15	9	1	9	64/68	"	9.1/2	65/68	65/68
664	—	9	2	9	63/67	"	9.1/2	64/66	64/66
665	—	8	1	9	66/69	"	9.1/2	63/65	63/65

Figura 86 - Propriedades gerais dos aços rápidos.

• FERRAMENTAS DE METAL DURO

O metal duro é o material mais importante utilizado na indústria mecânica para fabricação de ferramentas, devido à combinação de dureza à temperatura ambiente, dureza a quente, resistência ao desgaste e tenacidade que pode ser obtida pela variação de sua composição. É um produto da metalurgia do pó formado essencialmente por dois constituintes:

- um carboneto extremamente duro e de alta resistência ao desgaste (CW) só ou associado com outros carbonetos (TiC e TaC).
- um elemento aglomerante, usualmente cobalto, responsável pela tenacidade do material.

Existem inúmeras classes ou tipos de metal duro, de modo a atender às condições mais diversas de usinagem, não só no que se refere ao material sob usinagem, como também no que diz respeito às condições de corte, como velocidade, avanço, profundidade, etc..

O metal duro pode ser agrupado em três grupos, segundo a ISO (International Organization for Standardization). Os fabricantes têm classificações próprias que correspondem as da ISO. São os seguintes:

GRUPO P - compreendendo os tipos ou classes empregadas na usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos longos e dúteis.

GRUPO M - compreendendo as classes que se destinam a usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos tanto longos como curtos.

GRUPO K - Compreendendo as classes que se empregam na usinagem de metais e ligas ferrosas que apresentam cavacos curtos e materiais não metálicos.

A representação esquemática da figura a seguir apresenta a subdivisão idealizada para os referidos grupos, mostrando a tendência de variação das características de dureza, resistência ao desgaste e tenacidade.

DESIGNAÇÃO ISO	DUREZA E RESIST. AO DESGASTE	TENACIDADE
P 01 P 10 P 20 P 25 P 30 P 40 P 50	↑	↓
M 10 M 20 M 30 M 40	↑	↓
K 01 K 05 K 10 K 20 K 30 K 40	↑	↓

Figura 87 - Classificação dos tipos de metal duro.

As figuras a seguir apresentam as composições químicas aproximadas, as características principais e os campos de aplicações das classes ISO.

Composição e propriedades do metal duro dos tipos WC + TiC + C [3]

Composição, %			Densidade (g/cm ³)	Dureza Rockwell A	Resist. à ruptura transversal (kg/mm ²)	Resist. à com- pressão* (kg/mm ²)	Módulo de elas- ticidade (kg/mm ²)
WC	TiC	Co					
94	1	5	14,5-14,7	90-91	139-159	556	63.000
87,5	2,5	10	14,0-14,2	89-90	159-179	457	56.700
84,5	2,5	13	13,7-13,8	87-89	179-199	447	54.600
86	5	9	13,2-13,4	89-91	149-159	457	58.800
82	5	13	12,8-13,0	88-90	159-179	—	—
82	10	8	11,8-12,0	90-91	149-169	—	—
78	14	8	11,1-11,3	90-91	129-139	417	53.900
78	16	6	11,0-11,2	90-91,5	109-124	427	51.800
76	16	8	10,9-11,1	90-91	119-129	—	—
69	25	6	9,6- 9,8	91-92	89-109	—	42.000
61	32	7	8,7- 9,0	92-93	79-99	408	37.800

* Valores Médios

Composição química e características físicas principais do metal duro segundo a norma ISO

Desig- nação*	Composição aproximada, %			Características principais				
	WC	TiC + TaC	Co	Densi- dade (g/cm ³)	Dureza Vickers (kg/mm ²)	Resist. à ruptura trans- versal (kg/mm ²)	Módulo de elas- ticidade (kg/mm ²)	Coeffi- ciente de dila- tação térmica (10 ⁻⁴ 1/C°)
P01	30	64	6	7,2	1.800	75	—	—
P10 (S1)	55	36	9	10,4	1.600	140	52.000	6,5
P20 (S2)	76	14	10	11,9	1.500	150	54.000	6,0
P25	73	19	8	12,5	1.500	170	55.000	6,0
P30 (S3)	82	8	10	13,0	1.450	170	56.000	5,5
P40	77	12	11	13,1	1.400	180	56.000	5,5
P50	70	14	16	12,9	1.300	200	52.000	5,5
M10	84	10	6	13,1	1.650	140	58.000	5,5
M20	82	10	8	13,4	1.550	160	56.000	5,5
M30	81	10	9	14,4	1.450	180	58.000	5,5
M40	78	7	15	13,5	1.300	200	55.000	5,5
K01	93	2	5	15,0	1.750	120	63.000	5,0
K05	92	2	6	14,6	1.700	135	63.000	5,0
K10 (H1)	92	2	6	14,8	1.650	150	63.000	5,0
K20 (G1)	91,5	2,5	6	14,8	1.550	170	62.000	5,0
K30	89	2	9	14,5	1.450	190	—	5,5
K40 (G2)	88	—	12	14,3	1.300	210	58.000	5,5

Figura 88 - Características físico-químicas do metal duro

A título de orientar o técnico para a escolha da forma de ferramenta, das condições de usinagem e da pastilha do metal duro, são apresentadas algumas figuras com dados e ilustrações que podem ser encontrados na bibliografia apresentada.

Principais campos de aplicação do metal duro segundo a ISO

Designação	Campo de aplicação	
Para materiais ferrosos de cavaco longo, como aços e ferro fundido maleável	P01	Operações de acabamento fino, com avanços pequenos e altas velocidades, como torneamento e furação de precisão. Exige máquinas rígidas, isentas de vibração.
	P10	<i>Idem</i> — Também para aplicações em que ocorre grande aquecimento da ferramenta.
	P20	Operação de desbaste leve, com velocidades de médias e altas e avanços médios. Também em operações de aplainamento com secções pequenas de corte.
	P25	Operações de desbaste com velocidades e avanços médios.
	P30	Operações com baixas a médias velocidades de corte e secções de corte médias a grandes: torneamento, fresamento, aplainamento.
	P40	Operações de desbaste grosseiro e em condições severas de corte, como corte interrompido, mesmo em máquinas sujeitas a vibração; velocidades baixas a médias e grandes avanços e profundidades de corte; torneamento, aplainamento.
	P50	<i>Idem</i> ; é o tipo mais tenaz, aplicações em que se usam máquinas obsoletas, onde substitui o aço rápido com grande vantagem.

Designação	Campo de aplicação	
Classes universais: aços, inclusive aços-liga, ferro fundido, comum, ferro fundido nodular, ferro fundido maleável.	M10	Operações de torneamento com velocidades médias a altas e secções de corte médias.
	M20	Operações de torneamento, fresamento, aplainamento, com velocidades de corte médias e secções de corte médias.
	M30	<i>Idem</i> , com secções de corte médias a grandes.
	M40	Torneamento, principalmente em máquinas automáticas.
Para materiais de cavaco curto: ferro fundido, aço temperado, metais não-ferrosos, plásticos, madeiras.	K01	Operações de acabamento fino e de precisão, como broqueamento e faceamento, com cortes leves e firmes, avanços pequenos e altas velocidades.
	K05	Operações de acabamento, como torneamento, alisamento e furação de precisão, com alta velocidade de corte.
	K10	Operações de usinagem em geral.
	K20	<i>Idem</i> , com avanços e velocidades médias.
	K30	Operações de desbaste, cortes interrompidos e profundos.
	K40	<i>Idem</i> , onde se tem condições muito desfavoráveis e se deve trabalhar com ângulos de saída grandes.

Figura 89 - Principais campos de aplicações do metal duro.

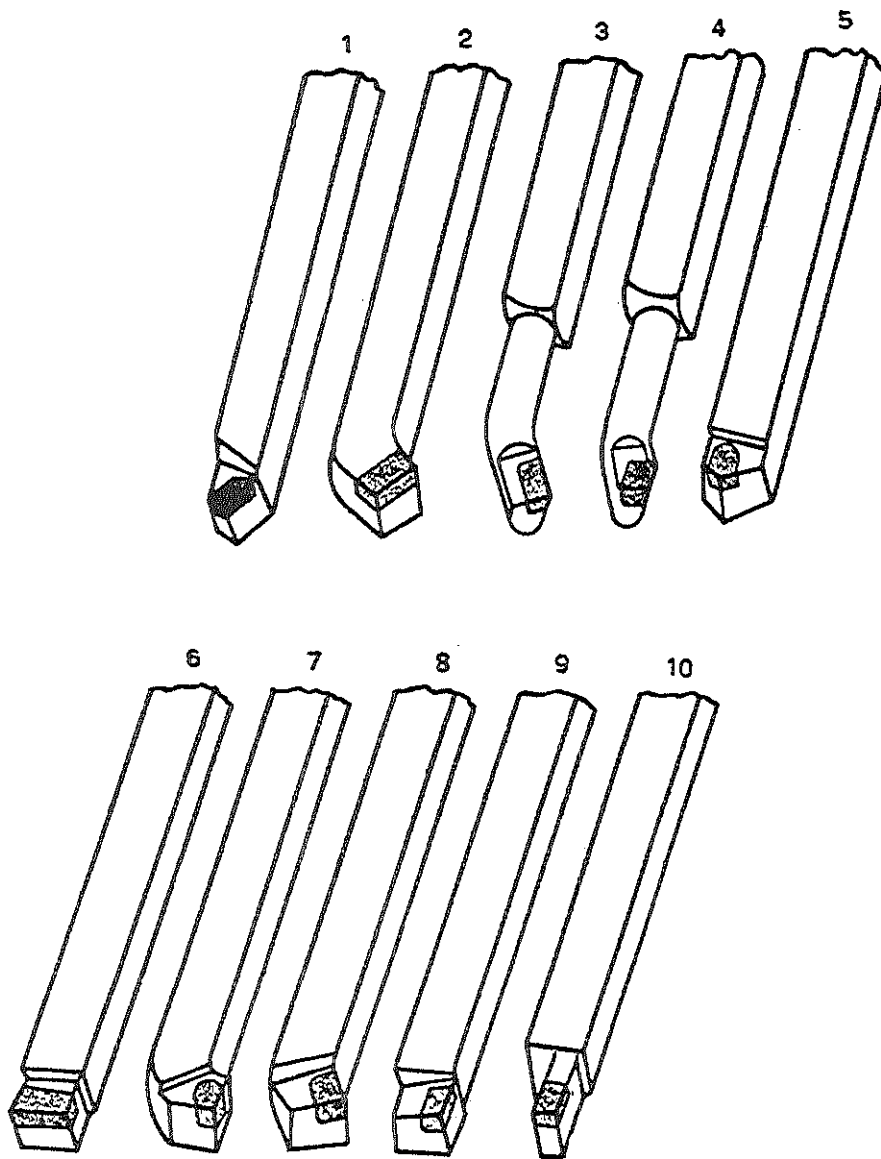


Figura 90 - Perfis das ferramentas.

1 - Reta, para debastar; 2 - Arqueada, para debastar; 3 - Arqueada para debastar interiores; 4 - Arqueada, para acabar interiores; 5 - Reta, para acabamento; 6 - Ponta plana, para tornear de frente; 7 - Arqueada, para acabamento; 8 - Arqueada, para acabamento cilíndrico e ressalto; 9 - Reta, de faceamento; 10 - Reta, de sangrar.

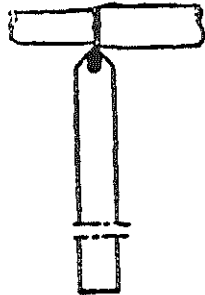
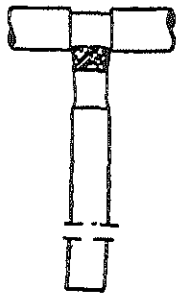
Esquema de la herramienta	Dimensiones del mango			Plaquita DIN E 4966	
	Anchura mm	Altura mm	Longitud mm	Forma y dimensiones	
<p>Recta para cilindrar y afinar DIN E 4975</p> 	10	10	100	E 8	
	12	12	125	E 10	
	16	16	160	E 12	
	20	20	200	E 16	
	25	25	200	E 20	
	32	32	250	E 25	
	40	40	315	E 32	
	10	16	160	E 10	
	12	20	200	E 12	
	16	25	200	E 16	
	20	32	250	E 20	
	25	40	315	E 25	
	32	50	315	E 32	
	40	63	400	E 32	
	<p>Para torneado de frente DIN E 4976</p> 	10	10	100	C 10
		12	12	125	C 12
		16	16	160	C 16
		20	20	200	C 20
		25	25	200	C 25
32		32	250	C 32	
40		40	315	C 40	
50		50	315	C 50	
10		16	160	C 10	
12		20	200	C 12	
16		25	200	C 16	
20		32	250	C 20	
25		40	315	C 25	
32		50	315	C 32	
40		63	400	C 40	
50		80	500	C 50	

Figura 91 - Tipos de dimensões de ferramentas.

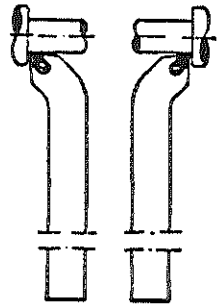
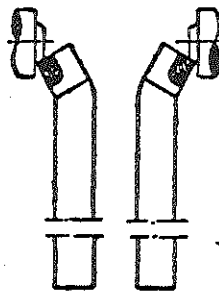
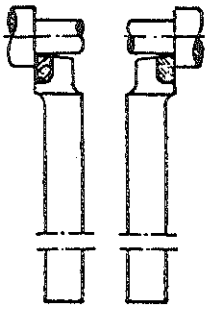
Esquema de la herramienta	Dimensiones del mango			Plaquita DIN E 4966		
	Anchura mm	Altura mm	Longitud mm	Forma y dimensiones		
				Derecha	Izquierda	
<p>Acodada para afinar y refrentar</p> <p>DIN E 4978</p>  <p>Derecha Izquierda</p>	10	10	100	E 8	E 8	
	12	12	125	E 10	E 10	
	16	16	160	E 12	E 12	
	20	20	200	E 16	E 16	
	25	25	200	E 20	E 20	
	32	32	250	E 25	E 25	
	40	40	315	E 32	E 32	
	10	16	160	E 10	E 10	
	12	20	200	E 12	E 12	
	16	25	200	E 16	E 16	
	20	32	250	E 20	E 20	
	25	40	315	E 25	E 25	
	32	50	315	E 32	E 32	
	40	63	400	E 32	E 32	
	<p>Acodada para refrentar</p> <p>DIN E 4979</p>  <p>Derecha Izquierda</p>	10	10	100	A 8	B 8
		12	12	125	A 10	B 10
		16	16	160	A 12	B 12
		20	20	200	A 16	B 16
		25	25	200	A 20	B 20
32		32	250	A 25	B 25	
10		16	160	A 10	B 10	
12		20	200	A 12	B 12	
16		25	200	A 16	B 16	
20		32	250	A 20	B 20	
25		40	315	A 25	B 25	

Figura 92 - Tipos e dimensões de ferramentas.

Esquema de la herramienta	Dimensiones del mango			Plaquita DIN E 4966	
	Anchura mm	Altura mm	Longitud mm	Forma y dimensiones	
				Derecha	Izquierda
<p>Para refrentar, mango recto</p> <p>DIN E 4980</p>  <p>Derecha Izquierda</p>	10	10	100	A 8	B 8
	12	12	125	A 10	B 10
	16	16	160	A 12	B 12
	20	20	200	A 16	B 16
	25	25	200	A 20	B 20
	32	32	250	A 25	B 25
	40	40	315	A 32	B 32
	50	50	315	A 40	B 40
	63	63	400	A 50	B 50
	10	16	160	A 10	B 10
	12	20	200	A 12	B 12
	16	25	200	A 16	B 16
	20	32	250	A 20	B 20
	25	40	315	A 25	B 25
	32	50	315	A 32	B 32
	40	63	400	A 40	B 40
	50	80	500	A 50	B 50

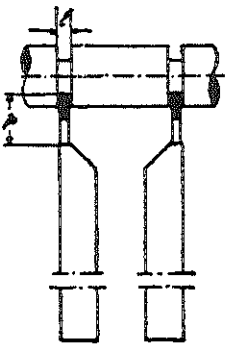
Esquema de la herramienta	Dimensiones del mango					Plaquita DIN E 4966
	Anchura mm	Altura mm	Longitud mm	Anchura corte mm	Profundi- dad corte mm	Derecha e izquierda
<p>Para tronzar</p> <p>DIN E 4981</p>  <p>Derecha Izquierda</p>	6	10	100	4	10	D 4
	8	12	125	4	10	D 4
	10	16	160	4	12	D 4
	12	20	200	5	16	D 5
	16	25	200	6	20	D 6
	20	32	250	8	25	D 8
	25	40	315	10	32	D 10
	32	50	315	12	40	D 12
	40	63	400	16	50	D 16

Figura 93 - Tipos de dimensões de ferramentas.

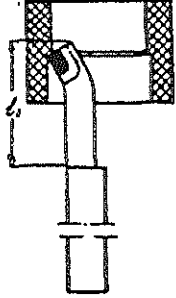
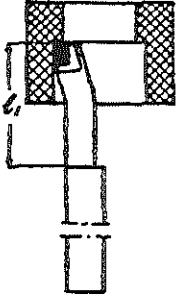
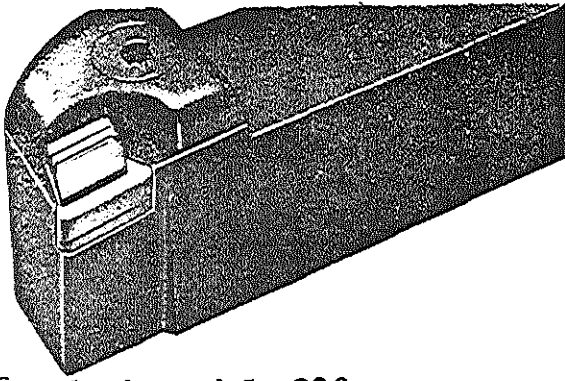
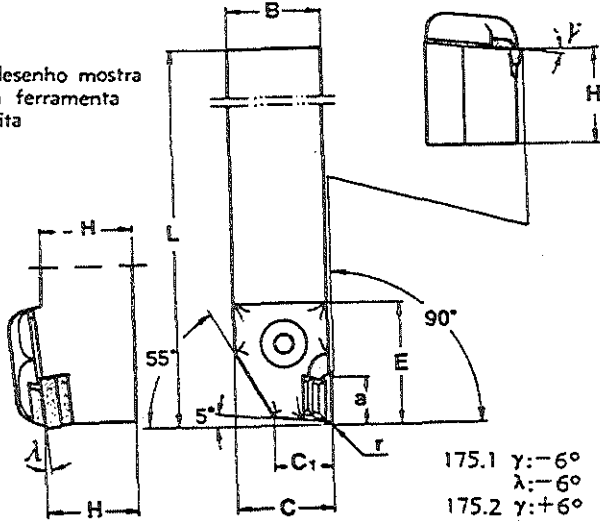
Esquema de la herramienta	Dimensiones del mango				Plaquita DIN D 4966
	Anchura mm	Altura mm	Longitud mm	l_1	Forma y dimensiones
Para desbaste de interiores DIN E 4973  Derecha	10	10	160	32	A 8
	12	12	180	40	A 8
	16	16	200	50	A 10
	20	20	250	80	A 12
	25	25	315	100	A 16
	32	32	355	125	A 20
	40	40	400	160	A 25
	50	50	500	200	A 32
Para torneear y refrentar interiores DIN E 4974  Derecha	10	10	160	32	A 8
	12	12	180	40	A 8
	16	16	200	50	A 10
	20	20	250	80	A 12
	25	25	315	100	A 16
	32	32	355	125	A 20
	40	40	400	160	A 25
	50	50	500	200	A 32

Figura 94 - Tipos de dimensões de ferramentas.

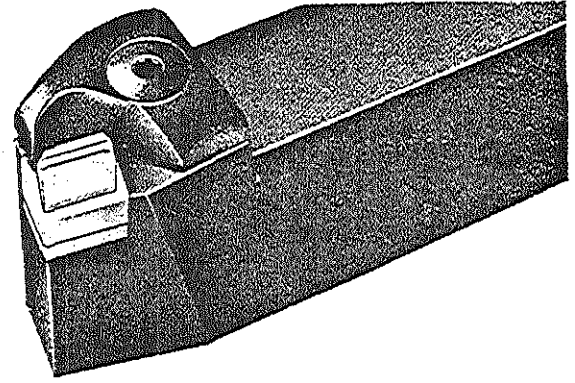


Ângulo de posição 90°

O desenho mostra uma ferramenta direita

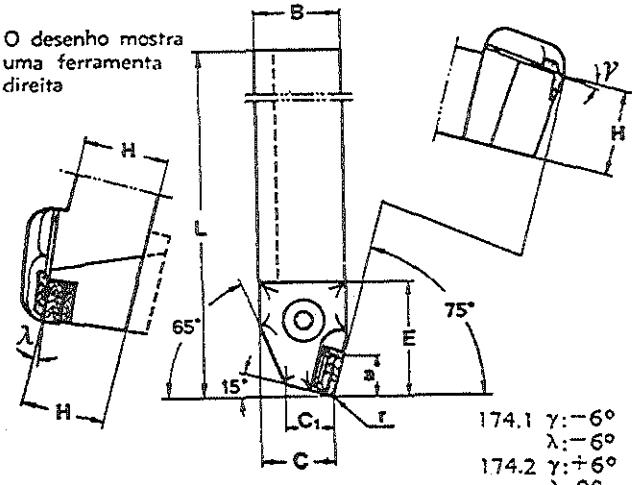


175.1 $\gamma: -6^\circ$
 $\lambda: -6^\circ$
175.2 $\gamma: +6^\circ$
 $\lambda: 0^\circ$



Ângulo de posição 75°

O desenho mostra uma ferramenta direita



174.1 $\gamma: -6^\circ$
 $\lambda: -6^\circ$
174.2 $\gamma: +6^\circ$
 $\lambda: 0^\circ$

Porta-ferramentas com saída negativa	Dimensões (mm)						Espessura dos inserts (mm)
	H	B	L	C	C ₁	E	
175.1-1919-11	19	19	150	19	13	25	3,18
175.1-2525-16	25	25	150	26	17	32	4,76
175.1-3225-16	32	25	180	26	17	32	4,76
175.1-3232-22	32	32	180	32	23	42	4,76
Porta-ferramentas com saída positiva							
175.2-1919-11	19	19	150	19	13	25	3,18
175.2-2525-16	25	25	150	26	17	32	3,18
175.2-3225-16	32	25	180	26	17	32	4,76
175.2-3232-22	32	32	180	32	23	42	4,76

△	Máx. profundidade de corte "a" para raio "r" (mm) =				
	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6
11	11	10	9		
16	16	15	14	13	12
22	22	21	20	19	18

Os porta-ferramentas são fornecidos tanto direitos (R), como esquerdos (L).

Acompanham: chave, calço e quebra-cavacos padrão.

Exemplo para pedido: 2 porta-ferramentas L 175.1-2525-16

Insertos, veja página 7 Peças sobressalentes, veja página 14

Porta-ferramentas com saída negativa	Dimensões (mm)						Espessura dos inserts (mm)
	H	B	L	C	2C ₁	E	
174.1-1919-09	19	19	150	16	12	27	3,18
174.1-1919-12	19	19	150	21	16	32	4,76
174.1-2525-12	25	25	150	21	16	32	4,76
174.1-3225-12	32	25	180	21	16	32	4,76
174.1-3232-19	32	32	180	26	21	44	4,76
174.1-3838-19	38	38	225	32	21	44	4,76
Porta-ferramentas com saída positiva							
174.2-1919-12	19	19	150	21	16	32	3,18
174.2-2525-12	25	25	150	21	16	32	4,76
174.2-3225-12	32	25	180	21	16	32	4,76
174.2-3232-19	32	32	180	26	21	44	4,76

Os porta-ferramentas 174.1-1919-12 e 174.2-1919-12 tem a cabeça com 25 mm de largura. Em adição o 174.2-1919-12 tem um ressalto de 6 mm abaixo da cabeça, conforme linha tracejada da ilustração acima.

□	Máx. profundidade de corte "a" para raio "r" (mm) =				
	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6
09	9	8	8		
12	12	11	11	10	10
19	18	17	17	16	16

Os porta-ferramentas são fornecidos tanto direitos (R), como esquerdos (L).

Exemplo para pedido: 2 porta-ferramentas R 174.1-1919-12
Insertos, veja página 8 Peças sobressalentes, veja página 14

Figura 95 - Tipos de dimensões de ferramentas (catálogo)

Condições de torneamento com metal duro para diferentes materiais. (Adaptação da tabela da VDI 3335 [14])

N.º	MATERIAL	CONDIÇÕES DE CORTE																
		Seção de corte			Rígido sem interrupção				Interrompido				Não rígido					
		Tensão de Ruptura σ_r (kg/mm ²)	Profundidade de corte p (mm)	Avanço a (mm/giro)	Material da Ferramenta	α_{ce}	γ_{ce}	λ_s	Material da Ferramenta	γ_0	γ_{ce}	λ_s	Material da Ferramenta	γ_0	γ_{ce}	λ_s		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Aço e aço fundido																		
1	Aço comum de construção mecânica Aço de cementação ¹	Até 50	0,5	0,1	P 10 K 10	5	5	—	0	P 10 K 10	6	—	0	—	—	—	—	—
			3	0,3	P 10 K 10	5	12	—	—	P 20 K 20	12	3	—	0	P 20 K 20	12	3	—4
			6	0,6	P 20 K 20	até 10	até 18	6	—4	P 30 P 40	18	0	—	—4	P 30 P 40	18	0	—10
			10	1,5	P 30 P 40	> 10	> 18	> 10	> 1,5	P 40 P 50					P 40 P 50			
2	Aço comum de construção mecânica Aço de têmpera e cementação Aço carbono para ferramentas	50 até 70	0,5	0,1	P 01	5	6	—	0	P 10	6	—	0	—	—	—	—	—
			3	0,3	P 10	5	12	—	—	P 20	12	0	—	0	P 20	12	0	—4
			6	0,6	P 20 P 25	até 10	até 18	3	—4	P 30 P 40	12	—3	—	—4	P 30 P 40	12	—3	até 10
			10	1,5	P 30 P 40	> 10	> 18	> 10	> 1,5	P 40 P 50					P 40 P 50			
3	Aço comum de construção e aço beneficiado Aço liga beneficiado	70 até 100	0,5	0,1	P 01	5	6	—	0	P 10	6	—	0	—	—	—	—	—
			3	0,3	P 10	5	12	—	—	P 20	12	0	—	0	P 20	12	0	—4
			6	0,6	P 20 P 25	até 10	até 18	3	—4	P 30 P 40	12	—3	—	—4	P 30 P 40	12	—3	até 10
			10	1,5	P 30 P 25	> 10	> 18	> 10	> 1,5	P 40					P 40			

Figura 96 - Condições de torneamento com metal duro

Valores indicativos para velocidades de corte no torneamento com porta-ferramentas com insertos reversíveis

Os valores indicados valem para uma vida de aprox. 15 min. da aresta

Material	Fôrça específica de corte K_s 0,4 (Kp/mm ²)	Dureza Brinell HB	Resistência à tração (Kp/mm ²)	F02	S1P	S2	S4	S6	R1P	R4	
				Avanço (mm/rot.)							
				0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2,0-0,4-0,2	3,0-0,4	0,4-0,3-0,1	2,0-0,4	
Velocidade de corte (m/min.)											
Aço carbono sem liga, normalizado											
C 0,15%	190	125	45	350-540	200-290-410	130-260-330	80-190-250	45-160			
C 0,35%	210	150	55	290-460	170-240-350	100-210-270	65-150-200	35-125			
C 0,70%	230	250	80	230-370	130-190-280	80-160-210	45-115-160	25-95			
Aço ligado recozido	210	150-200	50- 65	230-370	130-190-280	80-160-210	50-120-160	30- 95			
beneficiado	250	200-275	65- 90	180-290	105-150-220	65-130-170	40- 95-125	25- 75			
beneficiado	275	275-325	90-110	145-320	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20- 60			
beneficiado	300	325-450	110-150	115-185	65- 95-140	40- 80-105	25- 60- 80	15- 50			
Aço inox. recozido ferrítico					200-280	140-190-225	100-160-200	60-115			
martensítico	230	180-220	70- 85			140-170	90-135-170	90-115			
austenítico	260	150-180	55- 70								
Aço fundido não ligado					160-200	80-135-160	55-115-145	35- 90			
baixa liga	180	< 150	< 50		115-160	55- 95-115	35- 75-100	20- 60			
alta liga	210	150-250	50- 80			140-200	100-135-170	70-105			25-90
Ligas resis. a altas temperaturas ¹⁾											
Sanicro 75											25-30-50
Nimonic Pk31											7-18

Material	Fôrça específica de corte K_s 0,4 (Kp/mm ²)	Dureza Brinell HB	H05	H10	H1P	H13	H20	S2	S4
			Avanço (mm/rot.)						
			0,2-0,1	0,2	1,0-0,5-0,2	1,0-0,5-0,2	1,2-0,7	1,0-0,7-0,3	1,2-0,7-0,3
Velocidade de corte (m/min.)									
Aço, alta dureza									
Aço manganês 12% Mn ²⁾	360	200			20- 30- 60		10- 30		
aço temperado ^{2) 3) 4)}	450	HRC 50-65			10- 20- 35		10- 20		
Ferro fundido maleável de cavaco curto	110	110-145			90-140-200	65-105-150	55- 90	115-170-215	55-155
de cavaco longo	100	200-250			55-175-230	45-130-175		170-215	55-115-170
Ferro fundido cinzento de baixa liga	110	180	160-200	180	80-150-230	60-120-175	65- 90		
Ferro fundido cinzento e ferro fundido ligado com alta resistência mecânica	150	250	90-135	130	55-115-175	45- 85-130	45- 65	75-130-175	
Ferro fundido nodular ferrítico	110	160			55-115-175	45- 85-130		115-175	70-115
perlítico	180	250			45-100-160	35- 75-120		100-160	30- 55
Ferro fundido coquilhado ³⁾	275	400	6- 20		10- 20- 30				
	350	600	4- 15		8- 15- 20				
Cobre eletrolítico	110	50- 85			200-400-700		350-570		
Ligas de bronze-latão liga com chumbo, para corte livre	70	80-150			290-350-500		230-350		
Latão, liga com cobre	75	60-110			200-260-350		175-230		
bronze fosforoso	175	85-110			115-200-290		115-200		
Ligas de alumínio não adequadas para tratamento térmico	50	30- 80			1700-2300		1100-1700		
	70	80-120			290-580-800		230-350		
	75	100			290-580-800		115-230		
	90	130			115-175-580		90-150		

Figura 97 - Valores indicativos para velocidades de corte no torneamento.

Valores indicativos para velocidades de corte no torneamento com ferramentas montadas

Os valores indicados valem para uma vida de aprox. 35 min. da aresta

Material	Fôrça específica de corte K_n 0,4 (Kp/mm ²)	Dureza Brinell HB	Resistência à tração (Kp/mm ²)	F02	S1P	S2	S4	S6	R1P	R4
				Avanço (mm/rot.)						
				0,3-0,05	0,7-0,3-0,1	1,2-0,3-0,15	2,0-0,4-0,2	3,0-0,4	0,4-0,3-0,1	2,0-0,4
Velocidade de corte (m/min.)										
Aço carbono sem liga, normalizado										
C 0,15%	190	125	45	280-440	170-240-330	100-200-260	60-150-200	35-125		
C 0,35%	210	150	55	235-370	140-200-280	80-165-210	45-120-160	25-100		
C 0,70%	230	250	80	185-300	110-155-220	60-130-170	35- 90-125	20- 70		
Aço ligado recozido beneficiado	210	150-200	50- 65	185-300	110-155-220	60-130-170	40- 95-125	25- 70		
beneficiado	250	200-275	65- 90	145-240	85-120-175	50-100-130	30- 75-100	20- 60		
beneficiado	275	275-325	90-110	115-180	65- 95-140	40- 80-105	25- 60- 80	15- 45		
beneficiado	300	325-450	110-150	90-150	55- 75-110	30- 65- 85	20- 50- 60	15- 35		
Aço inox. recozido ferrítico										
martensítico	230	180-220	70- 85		160-225	110-145-180	80-125-155	45- 90		
austenítico	260	150-180	55- 70			110-135	70-105-135	70- 90		
Aço fundido não ligado	180	< 150	< 50							
baixa liga	210	150-250	50- 80		125-160	65-105-125	45- 90-115	25- 70		
alta liga	240	160-200	50- 65		90-125	45- 75- 90	30- 60- 80	15- 45		20-70
Ligas resis. a altas temperaturas ¹⁾										
Sanicro 75									15-20-35	
Nimonic Pk31									5-13	

Material	Fôrça específica de corte K_n 0,4 (Kp/mm ²)	Dureza Brinell HB	H05	H10	H1P	H13	H20	S2	S4
			Avanço (mm/rot.)						
			0,2-0,1	0,2	1,0-0,5-0,2	1,0-0,5-0,2	1,2-0,7	1,0-0,7-0,3	1,2-0,7-0,3
Velocidade de corte (m/min.)									
Aço, alta dureza									
Aço manganês 12% Mn ²⁾	360	200			15- 25- 50		8- 25		
aço temperado ³⁾ 1) 4)	450	HRC 50-65			10- 15- 25		8- 15		
Ferro fundido maleável de cavaco curto	110	110-145			70-110-155	50- 80-115	45- 70	90-135-155	45-90
de cavaco longo	100	200-250			45-135-180	35-100-135		135-155	45-90-135
Ferro fundido cinzento de baixa liga	110	180	125-160	140	65-145-180	50-110-135	50- 70		
Ferro fundido cinzento e ferro fundido ligado com alta resistência mecânica	150	250	70-115	100	45- 90-135	35- 65-100	35- 50	65-100-135	
Ferro fundido nodular ferrítico	110	160			45- 90-135	35- 70-100		90-135	55- 90
perlítico	180	250			35- 80-125	25- 60- 90		80-125	25-45
Ferro fundido coquilhado ³⁾	275	400	6- 20		8- 15- 25				
	350	600	4- 15		6- 10- 15				
Cobre eletrolítico	110	50- 85			155-315-540		270-450		
Ligas de bronze-latão liga com chumbo, para corte livre	70	80-150			200-270-400		180-250		
	75	60-110			155-200-270		135-180		
Latão, liga com cobre bronze fosforoso	175	85-110			90-155-225		90-155		
Ligas de alumínio não adequadas para tratamento térmico	50	30- 80			1350-1800		900-1350		
	70	80-120			225-450-625		180-270		
	75	100			225-450-625		90-180		
	90	130			90-135-450		70-115		

Figura 98 - Valores indicativos para velocidades de corte e avanços no torneamento.

Construtivamente, as ferramentas de torno com metal duro podem ser constituídas com a pastilha soldada ou através de fixação mecânica de um inserto (pastilha recambiável) de metal duro.

No primeiro tipo, a pastilha é soldada à haste com uma fina chapa de cobre ou latão colocada entre o aço do suporte e o metal duro. A fonte de calor para fusão do metal pode ser de um maçarico oxi-acetileno ou de um aparelho de indução.

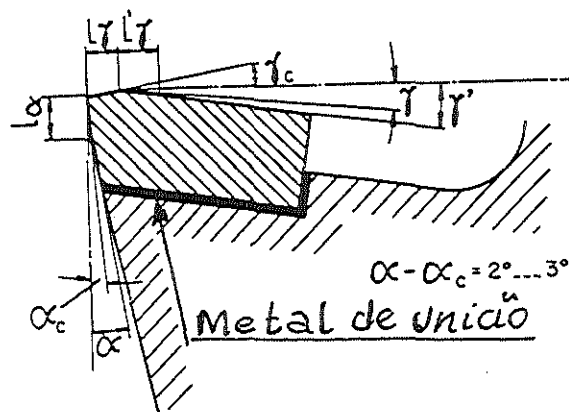


Figura 99 - Ferramenta com pastilha soldada.

As ferramentas com fixação mecânica do inserto são compostas, basicamente, por uma haste padronizada, um inserto padronizado conforme a haste, um calço como elemento de apoio do inserto na haste e elementos de fixação como parafuso e grampo. Pode-se, opcionalmente, agregar um quebra cavaco ou utilizar insertos com quebra cavaco. A figura a seguir ilustra as formas básicas.

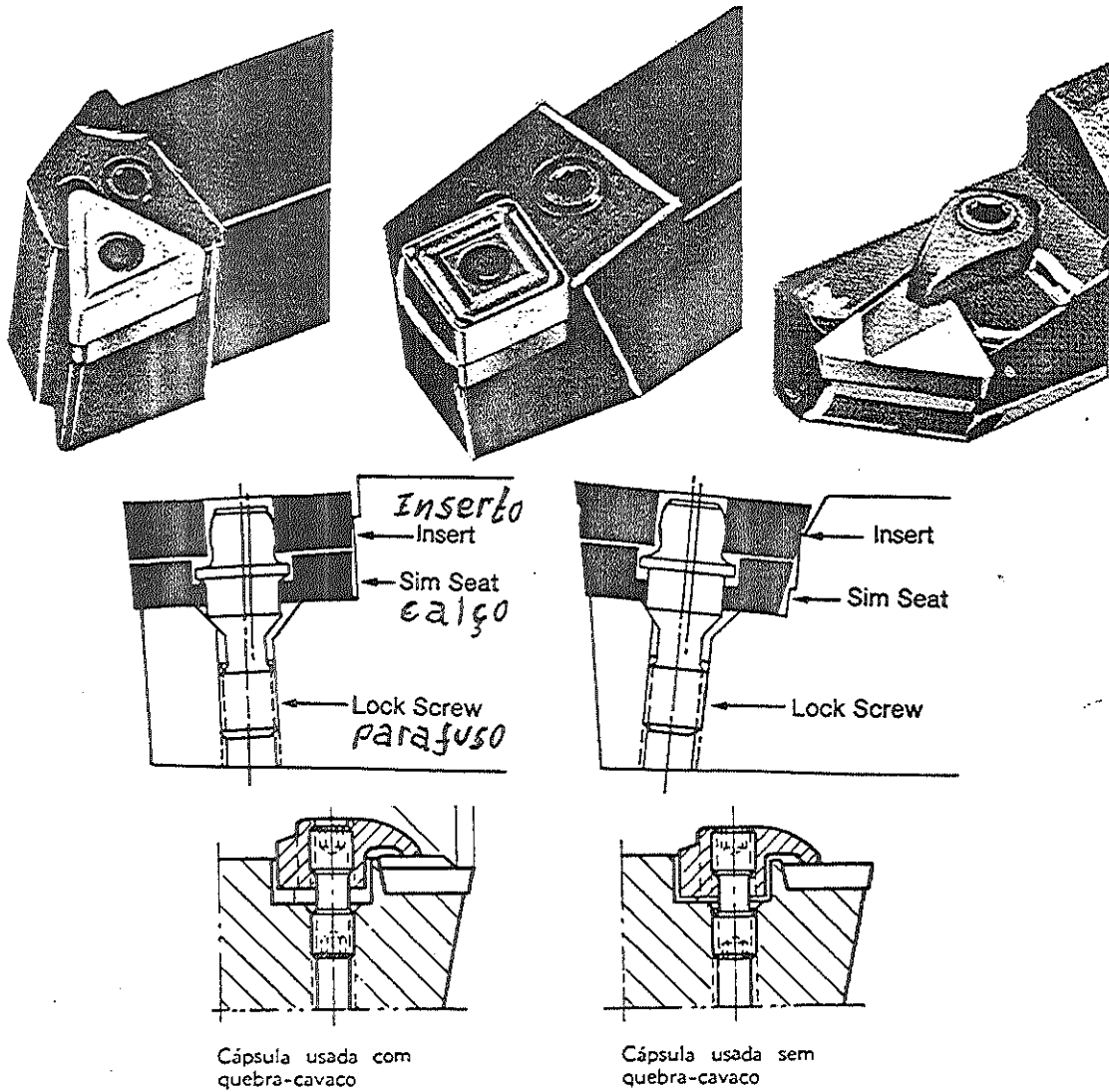


Figura 100 - Ferramenta com fixação mecânica do inserto.

2.1.10. Definição da Potência da Máquina e Tempo de Produção

Escolhidos o avanço de corte a e a profundidade de corte p , calculam-se a espessura de corte h e o comprimento de corte b .

$$h = a \cdot \sin \chi$$
$$b = \frac{p}{\sin \chi}$$

e a força de corte, segundo Kienzle

$$P_c = K_{S1} \cdot h^{1-2} \cdot b, \quad \text{sendo}$$

- χ - ângulo de posição da ferramenta;
Z - coeficiente angular da reta de representação da força de corte/unidade de comprimento de corte em função de h;
 K_{S1} - constante específica do metal para uma seção de corte de 1 mm de espessura por 1 mm de largura.

Encontram-se tabelados para diferentes materiais a constante específica de corte K_{S1} e o coeficiente (1-Z) da fórmula de Kienzle.

As condições de ensaio foram as seguintes:

- velocidade de corte: 90 ~ 125 m/min,
- espessura de corte : 0,1 ~ 1,4 mm,
- ferramenta de metal duro sem fluído de corte,
- geometria da ferramenta:

	α°	β°	γ°	λ°	ε°	κ°	r (mm)
1 - usinagem em aço	5	79	6	-4	90	45	1
2 - usinagem em F°f°	5	83	2	-4	90	45	1

Ao aumentar ou diminuir de um grau o ângulo de saída γ deve-se, respectivamente, diminuir ou aumentar de 1 a 2% a constante específica de corte K_{S1} .

A potência de corte é calculada pela expressão:

$$N_c = \frac{P_c \cdot v}{60.75},$$

- P_c - força de corte (Kgf)
 v - velocidade de corte (m/min.)
 N_c - potência de corte (HP)

A potência do motor da máquina é calculada pela expressão:

$$N = \frac{N_c}{\eta}$$

sendo η o rendimento mecânico da máquina.

O tempo de produção é composto de diversas parcelas, como:

- Tempo de montagem: preparação de uma operação;
- Tempo operador: colocar, retirar, manipular, medir, etc.;
- Tempo máquina: tempo de corte.

Os três primeiros podem ser estimados, medidos ou avaliados estatisticamente. O tempo de corte pode ser calculado com base nas condições de usinagem através da expressão:

$$T = \frac{L}{a \cdot m},$$

- L - comprimento a usinar (mm)
- a - avanço de corte (mm/volta)
- m - rotação da peça (rpm)

$$N = \frac{v}{\pi \cdot d}$$

sendo d o diâmetro em usinagem em m v a velocidade de corte em m/min.

2.2. Processo de Furação e Rebaixamento

2.2.1. Classificação

A furação consiste em abrir uma cavidade cilíndrica numa massa metálica, mediante uma ferramenta de arestas cortantes, denominada broca. Para este fim, é provida de movimento rotatório contínuo e de movimento de avanço retilíneo, segundo o eixo de rotação, realizados por uma furadeira.

O processo de rebaixamento inclui operações correlatas à furação com o objetivo de gerar alguma outra superfície ao furo já realizado.

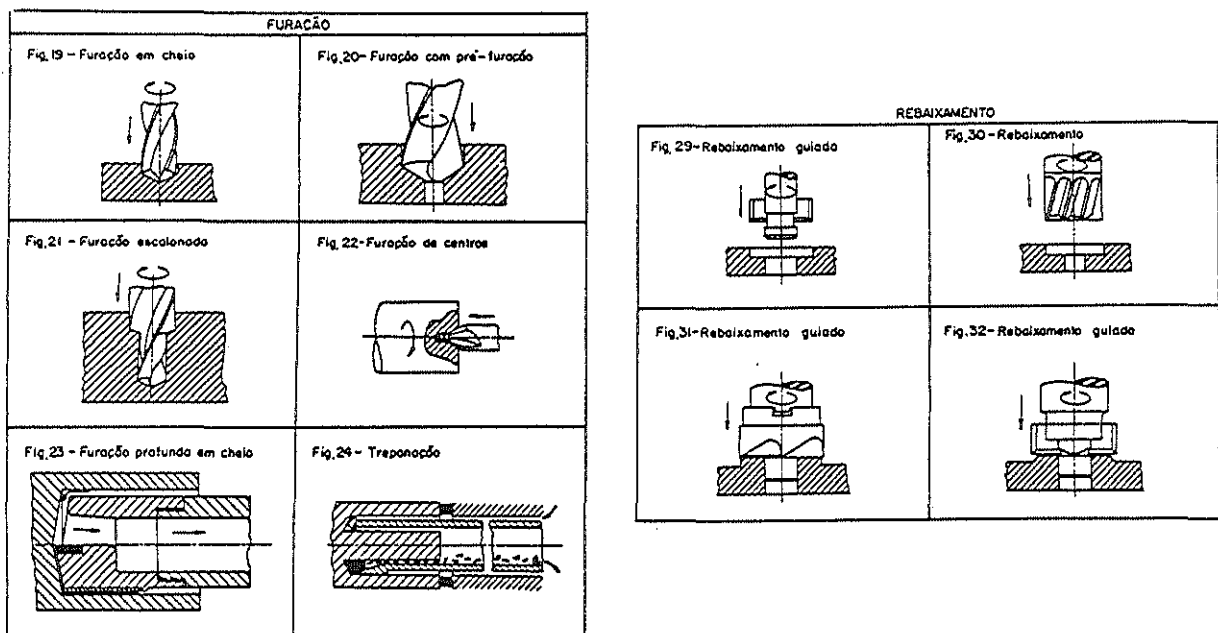


Figura 101 - Operação de furação - Figura 102 - Operação de rebaixamento.

O número de peças, o material e o emprêgo são parâmetros que, se por um lado fazem variar as técnicas de execução, por outro orientam a escolha e sugerem o caminho a seguir. Para usinagens em grandes séries devem ser estudados processos mais rápidos, como furadeiras automáticas que oferecem a vantagem de efetuar os cursos de avanço e retorno automaticamente, limitando-se o operador ao serviço de alimentação, eliminando-se os tempos mortos de engates, desengates etc.. Para roscamento indica-se a escolha de furadeira especial, com dispositivos para evitar a quebra de machos. Furos que não são resultados de uma simples furação com um passe de broca, necessitam de uma secessão de passes com outras ferramentas. Neste caso, para se trabalhar rapidamente, é preciso dispor de furadeiras de vários mandris e, também, de mesas giratórias.

Concluindo: a escolha de uma furadeira, do método e da aparelhagem certa para executar a furação de um determinado elemento, deve ser feita com base nos seguintes elementos:

- 1) forma da peça,
- 2) dimensões da peça,
- 3) número de furos a ser aberto por peça,
- 4) quantidade a ser produzida,
- 5) diversidade no diâmetro dos furos de uma mesma peça,
- 6) grau de precisão requerida.

As furadeiras, convenientemente utilizadas, podem ainda realizar outras operações como alargamento, roscamento interno com macho, rebaixamento, mandrilamento, etc..

O elemento essencial da classificação das furadeiras reside na capacidade de furação, definida pelo diâmetro do furo e pelo peso da peça a ser trabalhada. Distinguem-se:

- 1 - Furadeira portátil;
- 2 - Furadeira de alavanca: bancada e coluna;
- 3 - Furadeira com montante de avanço automático: mono-mandril e multi-mandril;

- 4 - Furadeira radial;
- 5 - Furadeira revólver;
- 6 - Furadeira com vários cabeçotes;
- 7 - Sistema de furação especial;
- 8 - Furadeira para furos profundos.

2.2.1.1. Furadeira portátil

Pequenos serviços ou execução de furos em peças de grandes dimensões, como bases, vigas, etc., podem requerer a usinagem de furos em posições não convenientes. Nestas situações, é indispensável recorrer às pequenas e leves furadeiras portáteis. A força de avanço é dada diretamente pela pressão muscular do operador, ao passo que a rotação da ponta é dada por um pequeno motor, através de um cinematismo que pode propiciar uma ou duas rotações, incorporado na própria furadeira. Existem furadeiras pequenas (furos de 6 a 12 mm, potência de 0,3 ÷ 0,5 HP) e furadeiras mais potentes (furos 12 a 32 mm, potência de 0,7 ÷ 0,8 HP), que exigem condições especiais de sustentação para que o operador possa colocar uma pressão maior durante a execução da furação. Existem furadeiras elétricas, pneumáticas e eletropneumáticas.

2.2.1.2. Furadeira de alavanca

São furadeiras sensíveis para furação com avanço manual, cuja velocidade é regulada pela sensibilidade do operador segundo uma maior ou menor resistência encontrada durante a usinagem. Este tipo de máquina é fabricado em duas versões: Furadeira de Bancada e Furadeira de Coluna.

• FURADEIRA DE ALAVANCA DE BANCADA

É constituída de uma base que serve de apoio da peça, de uma coluna unida à base na qual é montado o cabeçote que

contempla todos os órgãos de comando, ou seja: motor, polias escalonadas para transmissão do movimento do motor para o mandril, órgão de bloqueio do cabeçote na coluna, etc.. São máquinas para furação em cheio até 12 mm.

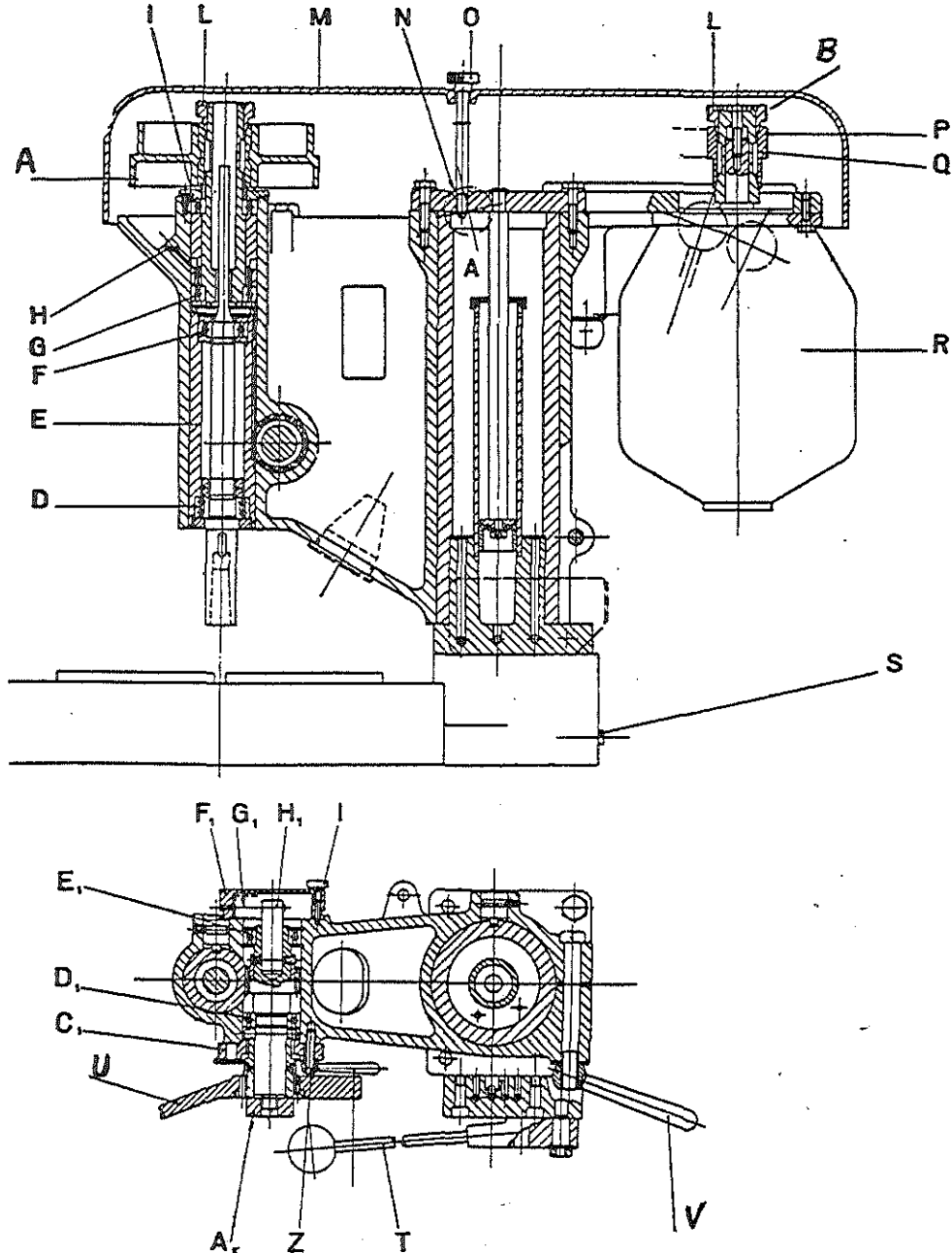


Figura 103 - Furadeira de bancada.

A - Polia escalonada; B - Polia do motor; D - Rolamento; E - Mangote; F - Rolamento; G - Rolamento; H - Engraxadeira; I - Rolamento; L - Porca; M - Proteção; R - Motor; S - Base; T - Alavanca de bomba para subir e abaixar o cabeçote; U - Alavanca para o avanço da broca; V - Alavanca para travar o cabeçote na posição.

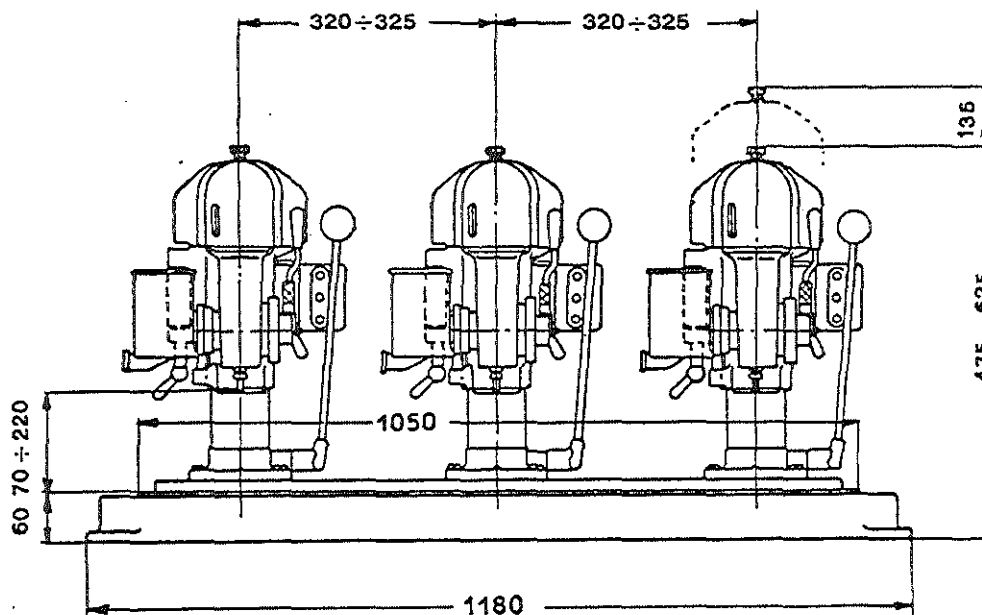


Figura 104 - Três furadeiras sobre uma única bancada disposta em linha.

• FURADEIRA DE ALAVANCA DE COLUNA

As furadeiras de coluna caracterizam-se por ter uma coluna de união entre a base e o cabeçote e uma mesa móvel entre estes conjuntos.

A mesa é deslocável mecânicamente através de engrenagem e cremalheira ou através de comandos hidráulicos comandados por pedal. São destinadas às peças de maior porte, mas tem cabeçotes semelhantes aos das furadeiras de bancada, diferenciando-se pela maior capacidade de furação (15 ÷ 20 mm), maior potência do motor e um maior número de velocidades.

Alguns fabricantes provêm este tipo de máquina com avanço automático do mandril, à semelhança das furadeiras de montante que serão vistas adiante. Conjuntos com várias colunas sobre uma base única são, também, viáveis para fabricação em série.

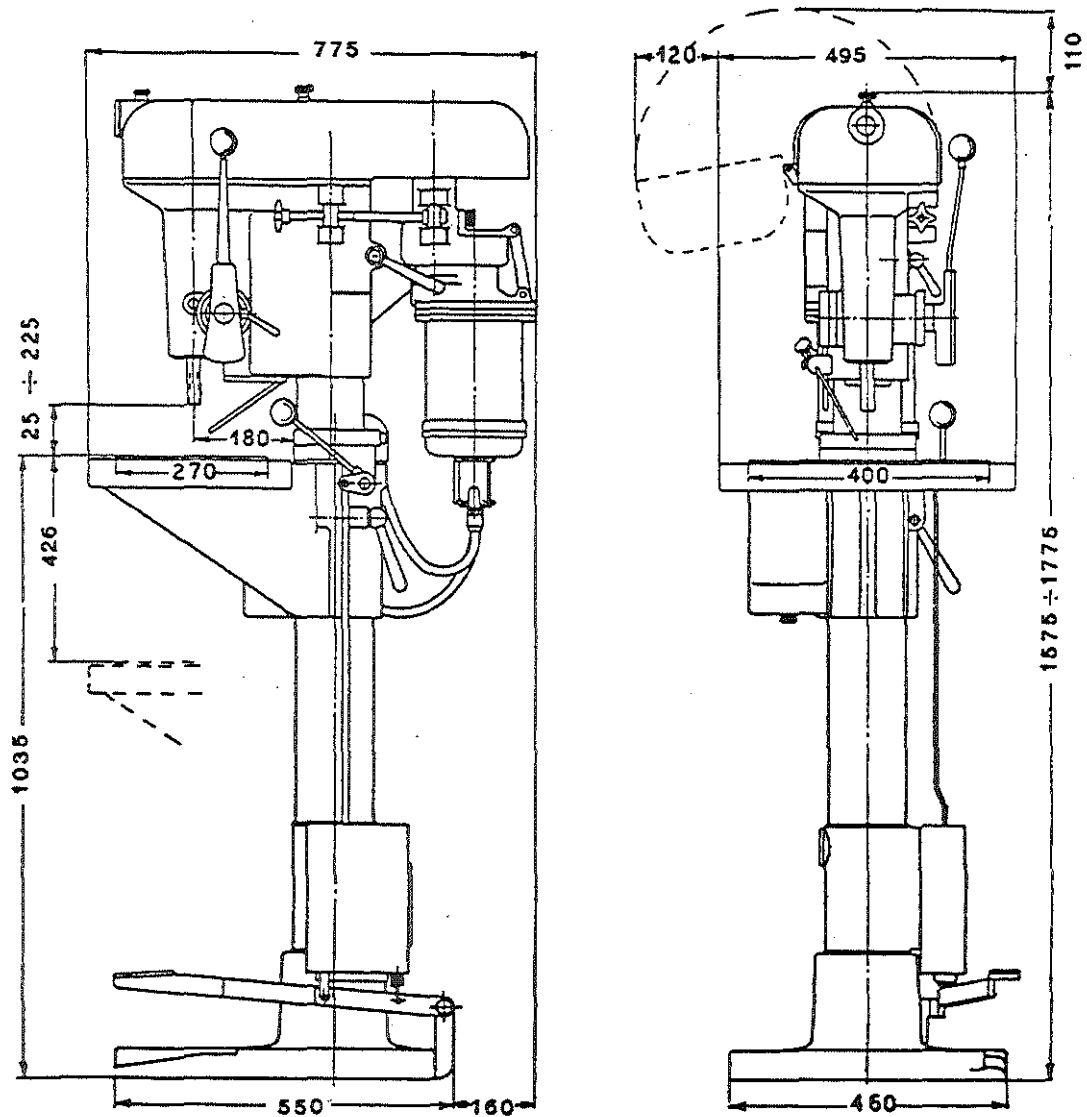


Figura 105 - Furadeira de Coluna.

• MÉTODO DE PRODUÇÃO

As furadeiras, geralmente, não são máquinas equipadas com mesas de coordenadas que possibilitem a localização das linhas de centro dos furos. Para tanto, é preciso localizar os centros por traçamento ou através de dispositivos. Poucas peças podem ser furadas através de furação livre após o traçamento das linhas de centro do furo, com dispositivos comuns de fixação, como por exemplo, as morsas. Grandes lotes requerem o uso de

dispositivos que possibilitem fixação, soltura e localização dos furos rápidas para se atingir uma produtividade aceitável. Os exemplos a seguir mostram algumas soluções.

Exemplo 1: Furação de um passe de ferramenta sobre máscara deslizante.

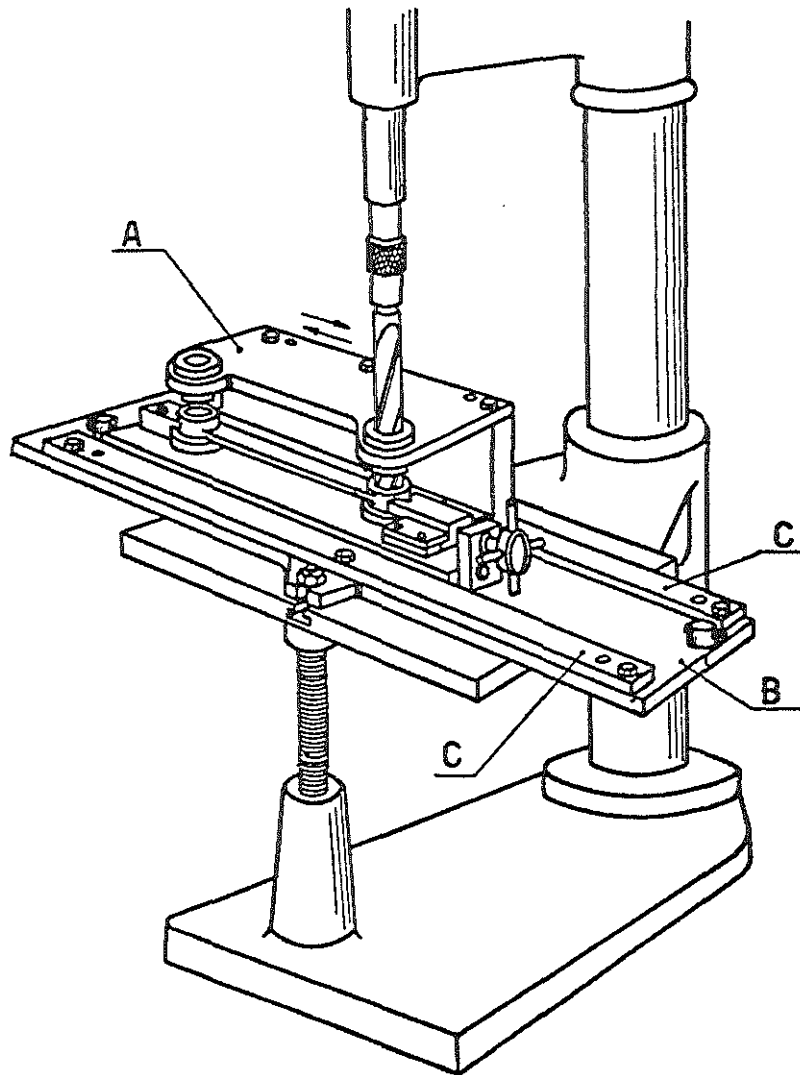


Figura 106 - Furação sucessiva, em dois pontos diferentes.

A operação será feita em dois tempos sucessivos, deslocando a máscara A, ora para a direita, ora para a esquerda. A placa B é fixada na mesa da furadeira e é provida de barras de

guia C. Se os dois furos são diferentes, tanto no diâmetro, quanto na tolerância, será feito com que as diversas ferramentas, vinculadas aos respectivos mandris, já previamente preparados, se revezem seguidamente, um a um, mediante rápidas substituições.

Exemplo 2: Furação com um passe de ferramenta sobre máscara giratória.

Suponhamos que se deva abrir quatro furos iguais e equidistantes sobre a corôa de uma flange circular. A escolha do processo é uma função da quantidade de peças.

- pequena produção - 1 furo cada vez, após traçamento;
- produção média - 4 furos cada vez com cabeçote multi-mandril;
- grande produção - 4 furos cada vez sobre um dispositivo com mesa giratória, manual ou automática.

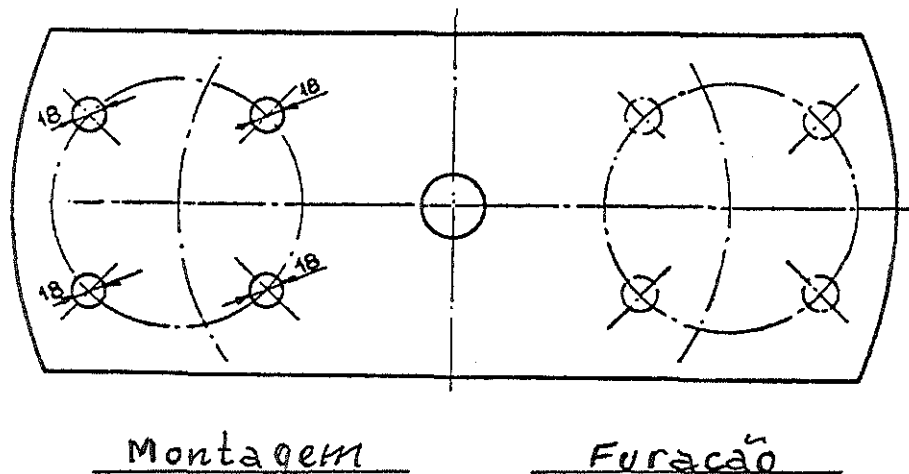


Figura 107 - Esquema de furação para aparelho giratório de duas estações e cabeçote múltiplo de quatro mandris.

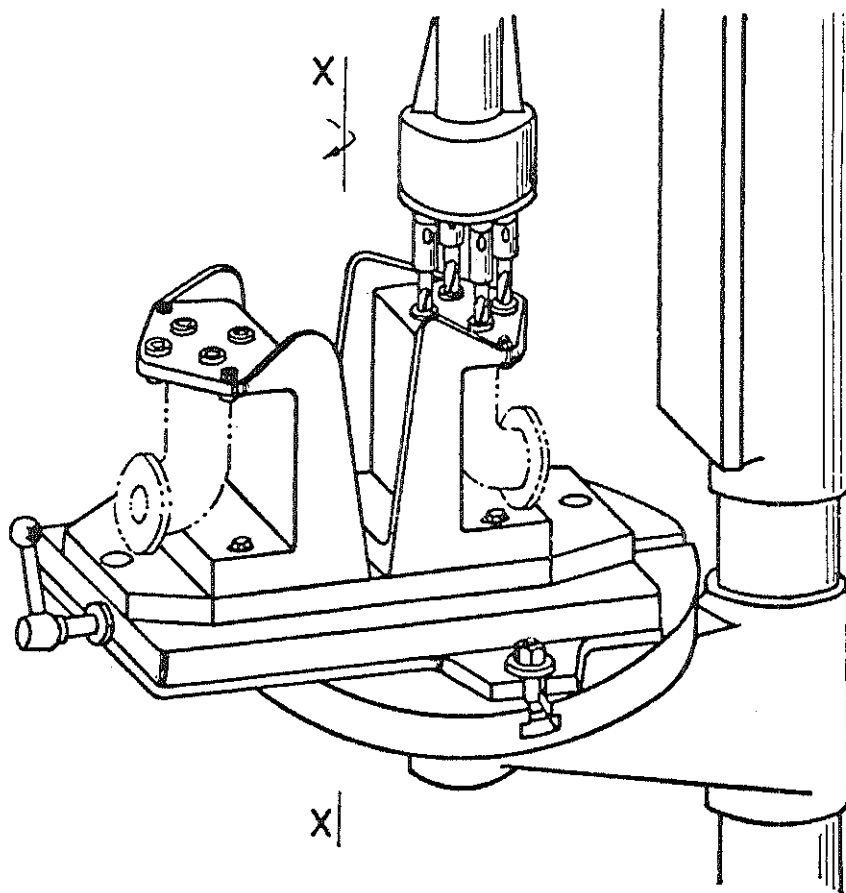


Figura 108 - Furação múltipla com cabeçote de quatro mandris e mesa giratória de duas estações. (A apresentação alternada das peças diametralmente opostas processa-se mediante rotação na mesa porta-máscaras em torno do eixo XX).

O dispositivo apresentado minimiza os tempos mortos pois, durante o tempo de furação, o operador desmonta a peça furada anteriormente e monta a peça seguinte que será localizada na posição de furação através de um giro de 180° da mesa da máquina.

Exemplo 3 - Furação em dois passes de ferramenta sobre máscara giratória.

Pelo simples passe de broca não é possível obter furos exatos, lisos e retos. Se for exigido um grau de tolerância, uma superfície lisa e um eixo retilíneo, é necessário retificar o furo anteriormente aberto e alargá-lo com ferramenta apropriada. O alargamento consiste em repassar com arestas cortantes ou com alargador especial, o diâmetro de um furo, provocando um certo aumento. A quantidade de ferramenta que concorre para obter uma furação é função do grau de precisão, da relação entre profundidade e diâmetro e da dureza do material. Para as usinagens em grande série, caso seja requerida uma furação precisa, é conveniente construir cabeçotes de mandris múltiplos aos quais podem ser aplicados as diferentes ferramentas (brocas, brocas de correção, alargadores). É claro que este tipo de cabeçote possui um eixo central interno engrenado com os mandris mediante engrenagem. Desta maneira a rotação e o avanço dos mandris processam-se contemporaneamente. As peças a furar devem ser posicionadas sobre uma plataforma giratória de mais que uma estação, que permite a montagem e a desmontagem das peças durante o desenvolvimento das fases de furação e de alargamento; os tempos passivos reduzem-se a aproximação das ferramentas, ao retorno das mesmas após o passe, e à rotação da plataforma.

Vejam os exemplos: Numa peça deve-se abrir um furo $0 = 18 \begin{matrix} +0,04 \\ -0,00 \end{matrix}$ com 25 mm de profundidade, que deverá ser feito em dois tempos:

- 1o. - Furação até $\phi = 17,75$ com broca
- 2o. - Alargamento para $18 \begin{matrix} +0,04 \\ -0,00 \end{matrix}$ com alargadores de acabamento.

Podemos orientar nosso estudo para a escolha de um cabeçote múltiplo de quatro mandris e de um dispositivo porta-peça rotatório de três (03) estações.

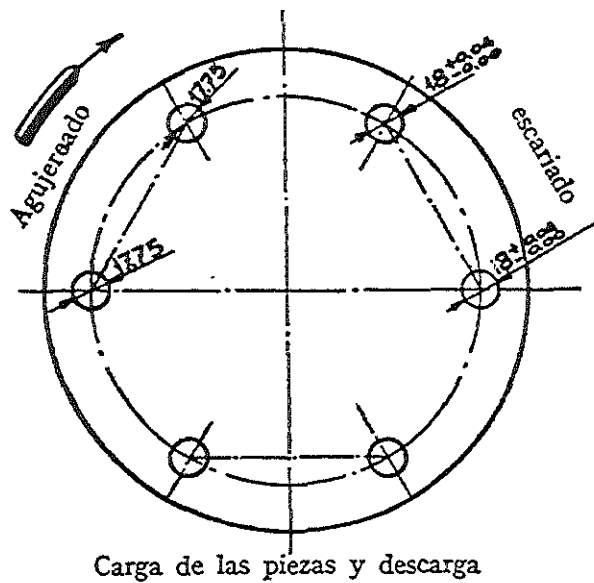


Figura 109 - Esquema de furção para dispositivo giratório de 3 estações e cabeçote múltiplo de 4 mandrils.

Deste modo, alargam-se duas peças, enquanto duas outras são furadas e outras duas posicionadas. Para maiores produções poderão ser colocadas mais peças por cada estação.

2.2.1.3. Furadeira com montante e avanço automático

A figura 110, ilustra a furadeira de montante e cabeçote com avanço automático.

Estas máquinas diferem das furadeiras de coluna, basicamente, pela robustez. O montante, vazio internamente, tem a forma retangular possibilitando alta resistência à flexão; na sua face frontal apresenta guias usinadas para deslocamento do cabeçote na parte superior e da mesa na parte inferior. O cabeçote compõe-se de dois conjuntos: superior, contém o cinematismo de mudança de velocidade de corte; inferior, contém o cinematismo de variação do avanço de corte, como mostra a figura 111.

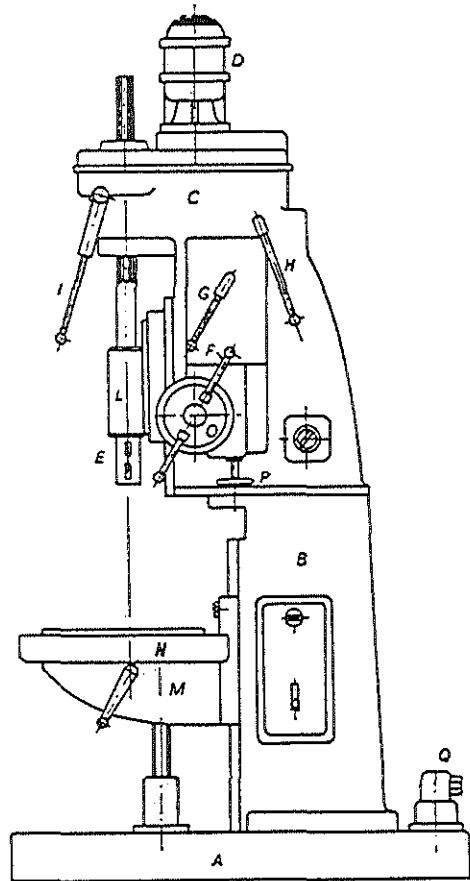


Figura 110 - Furadeira de montante com avanço automático mono-mandril

A - Base; B - Montante, C - Mesa; D - Cabeçote

A figura 112, mostra uma furadeira com montante e cabeçote móvel de avanço automático poli-mandril. Neste caso, o avanço automático é realizado movimentando-se todo o cabeçote.

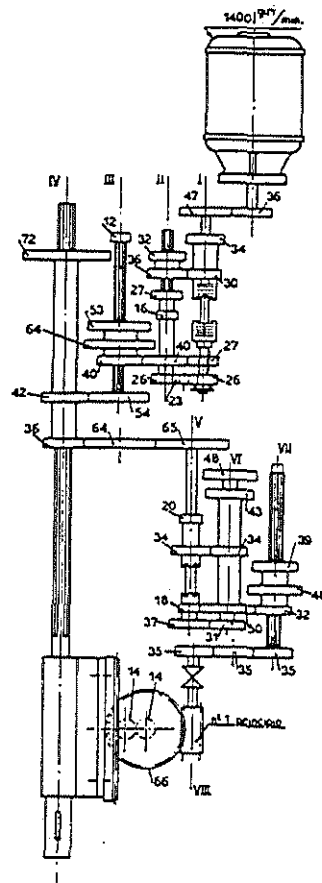


Figura 111 - Cinematismo de uma furadeira com avanço automático.

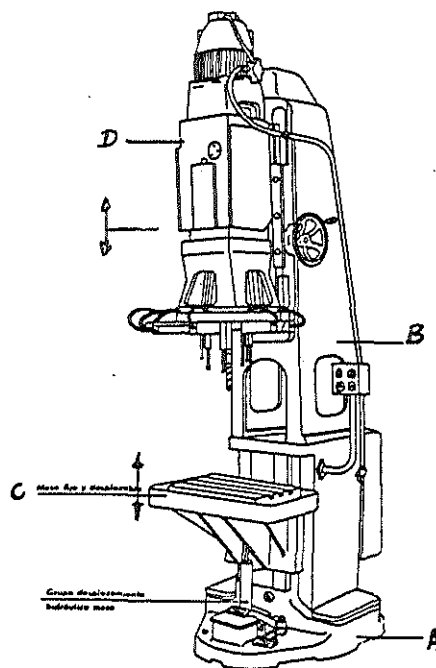


Figura 112 - Furadeira poli-mandril com cabeçote móvel.

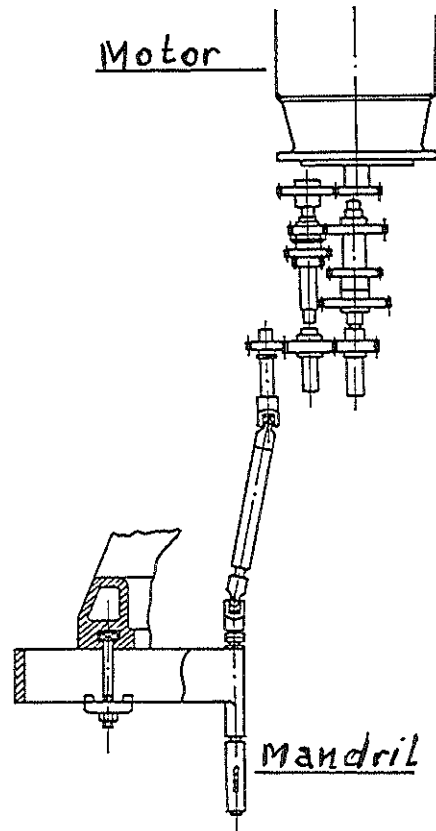


Figura 113 - Transmissão do movimento do motor a um mandril.

Estas máquinas podem ter comandos automáticos, desenvolvendo ciclos na seguinte ordem: avanço rápido, avanço normal de corte, retorno rápido, parada. Permitem usinar todos os furos de um mesmo plano simultaneamente reduzindo drasticamente o tempo gasto.

2.2.1.4. Furadeira radial

As peças de grandes dimensões que devam ser furadas em diversos pontos afastados da periferia não podem ser posicionadas em furadeira de coluna ou montante, porque a peça seria impedida pela estrutura da máquina. A furadeira radial, pela possibilidade de afastar o seu cabeçote da coluna, soluciona o problema. Com estas máquinas é possível abrir furos em peças de

maior porte, como carcaças e bases de máquina, peças estruturais em geral etc..

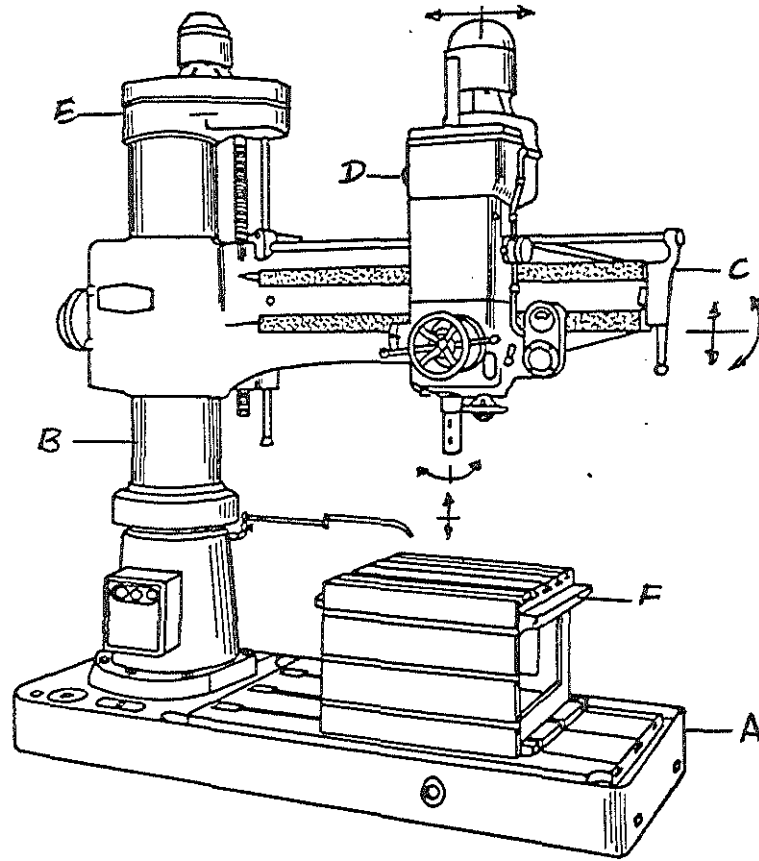


Figura 114 - Furadeira radial.

A - Base; B - Coluna; C - Braço ou bandeira orientável; D - Cabeçote; E - Mecanismo de movimentação vertical do braço; F - Mesa.

Os deslocamentos do cabeçote sobre o braço e giro do braço em torno da coluna são manuais. Os deslocamentos verticais do braço são comandados por um botão no cabeçote; este possui, ainda, os comandos necessários para acionar o avanço do mandril, desengates, mudanças de velocidades e avanço, inversão do sentido de rotação e órgão de lubrificação.

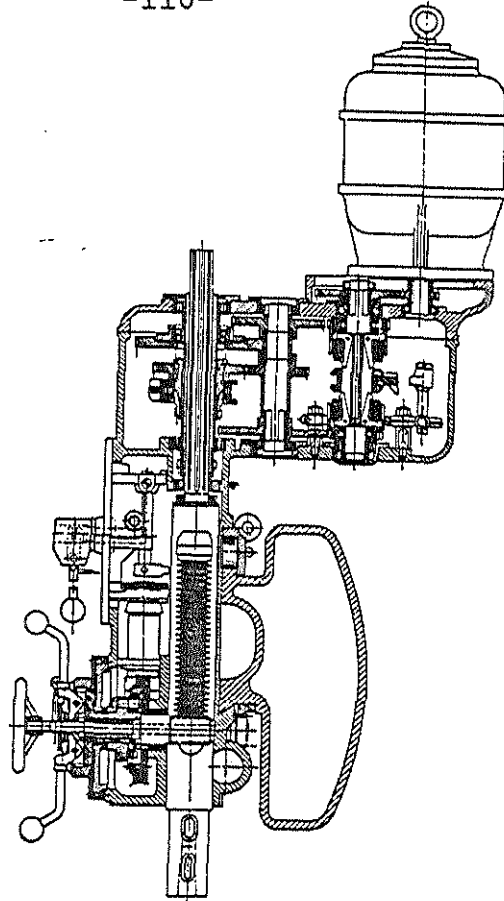


Figura 115 - Cabeçote.

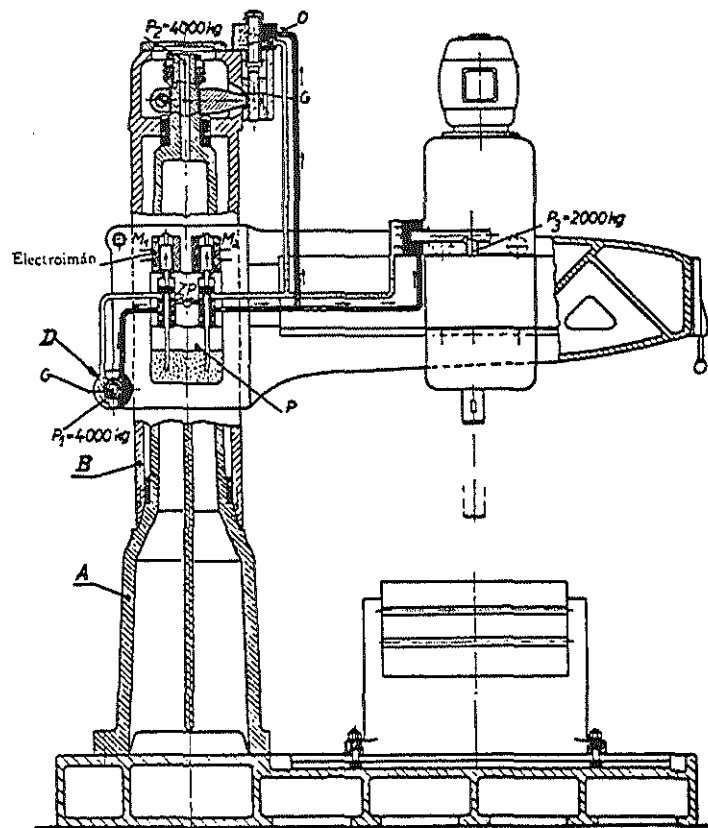


Figura 116 - Dispositivo de travamento das partes móveis.

Uma vez posicionado o braço e o cabeçote para a furação, para que estas partes fiquem estáticas em suas posições, existem dispositivos de travamento, como mostra o dispositivo da Figura 116 que é acionado hidráulicamente.

2.2.1.5. Furadeira revólver

Esta furadeira permite uma seqüência de operações no mesmo ponto, tal como: pré-furar, alargar, roscar, etc.; com uma única fixação da peça e sem trocas de ferramentas. As ferramentas são montadas na torre hexagonal giratória, segundo a seqüência correta de trabalho.

O cabeçote revólver é montado em uma estrutura que se desloca em guias usinados no montante. Tem capacidade para seis ferramentas, sendo acionado através de polias e engrenagens, por um motor elétrico.

O avanço do cabeçote, quando automático, é hidráulico e cada furo pode ter regulagem independente da velocidade de avanço. O ciclo de operação de usinagem funciona automaticamente.

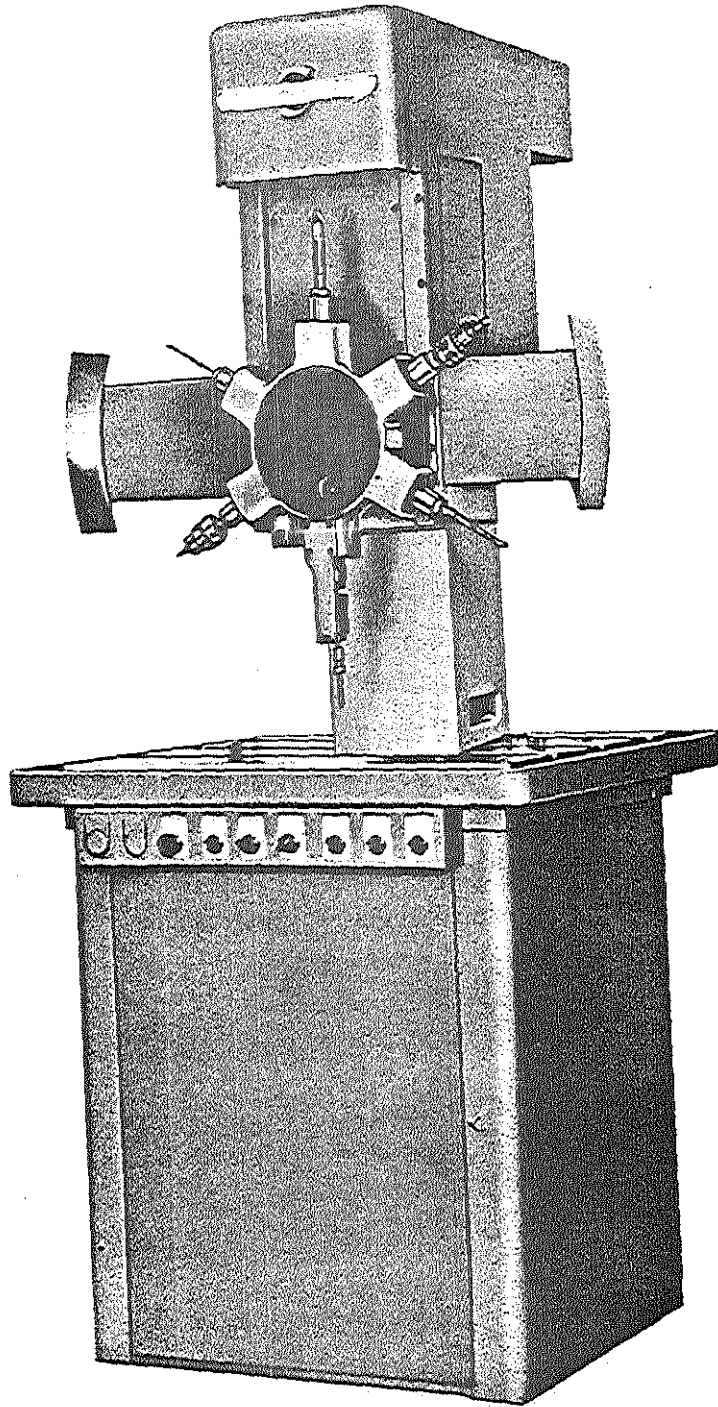


Figura 117 - Furadeira revólver.

2.2.1.6. Furadeira com vários cabeçotes

São máquinas que podem furar peças atacando simultaneamente com vários cabeçotes múltiplos que avançam em sentidos diferentes. Seguem alguns exemplos:

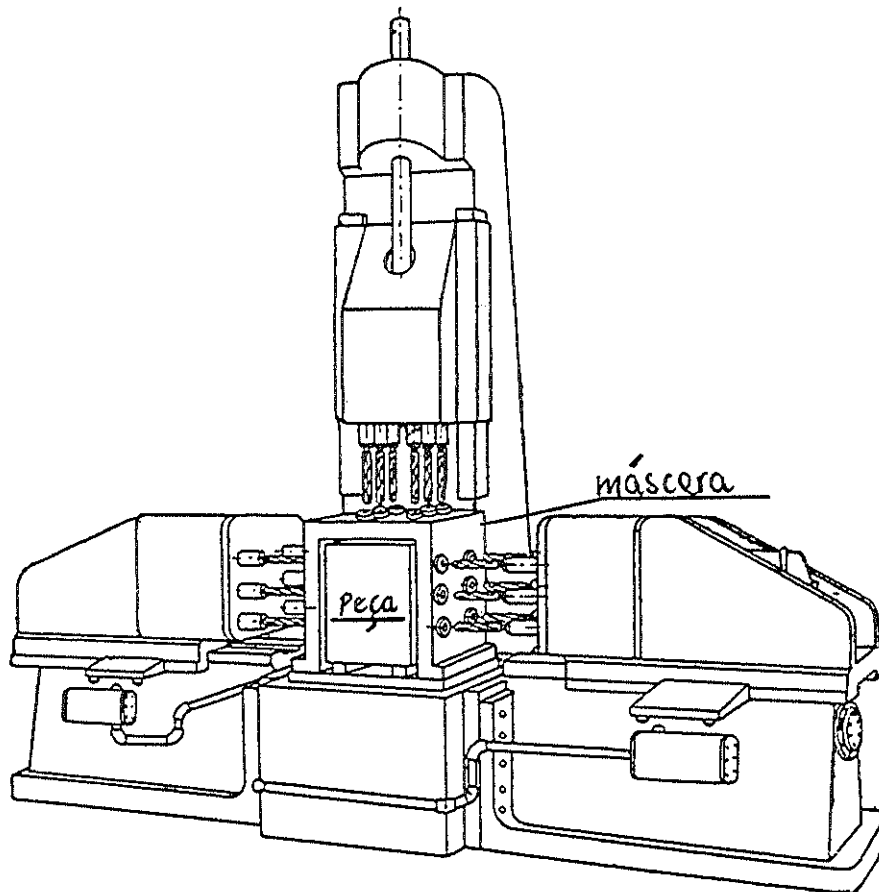


Figura 118 - Furadeira múltipla de três cabeçotes com posição fixa da peça.

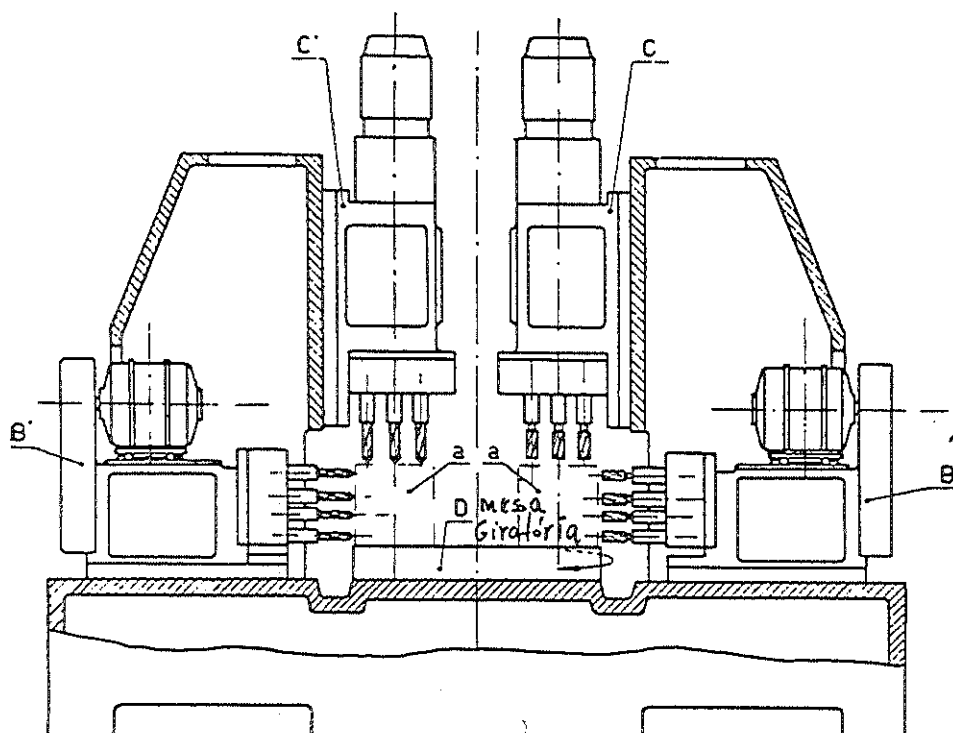


Figura 119 - Furadeira múltipla com quatro cabeçotes com mesa giratórias.

São máquinas indicadas para fabricação de grandes quantidades devido ao seu alto custo e aplicações específicas. Apresentam várias vantagens tais como:

- 1) eliminação de vários posicionamentos;
- 2) eliminação de rebatimentos;
- 3) redução do tempo gasto.

2.2.1.7. Sistemas especiais de furação

Exemplos típicos são as máquinas com carros de translação de várias estações (Máquinas Transfer) e máquinas de várias estações de coluna e mesa giratória.

Compreendem uma sucessão de "lugares de trabalho" numa mesma linha reta ou circunferência. Lugar de trabalho significa uma estação equipada com ferramentas que operam a máquina em determinados pontos. Estas máquinas transfer possuem, também, "placas de translação" que têm a finalidade de transportar a peça, comumente conhecidas por "pallet".

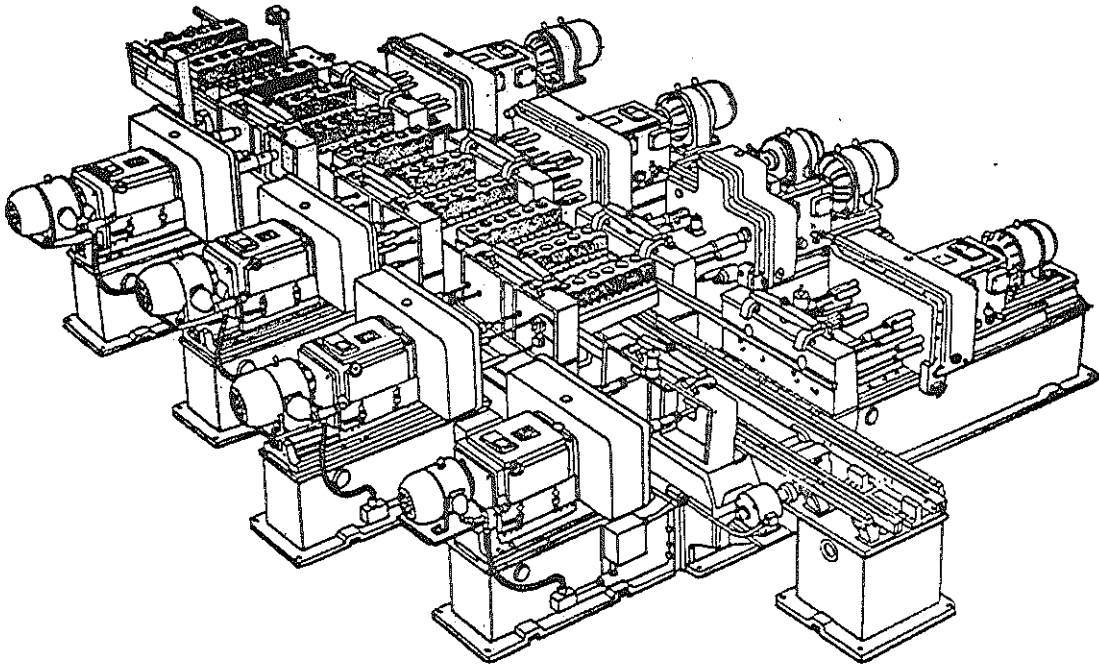


Figura 120 - Máquina transfer com 4 estações.

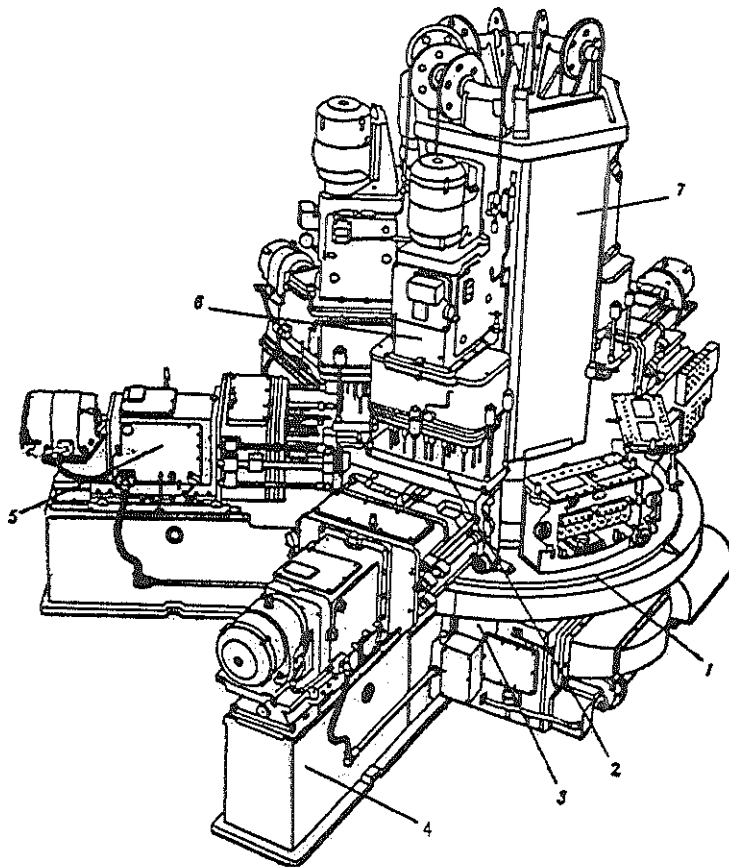


Figura 121 - Máquina de várias estações de coluna e mesa giratória.

1 - Mesa giratória; 2 - Peça; 3,4 - Base; 5 - Cabeçote horizontal; 6 Cabeçote vertical; 7 - Coluna.

São equipamentos bastante rígidos quanto a mudança do produto e que se justifica apenas para fabricação de grandes quantidades.

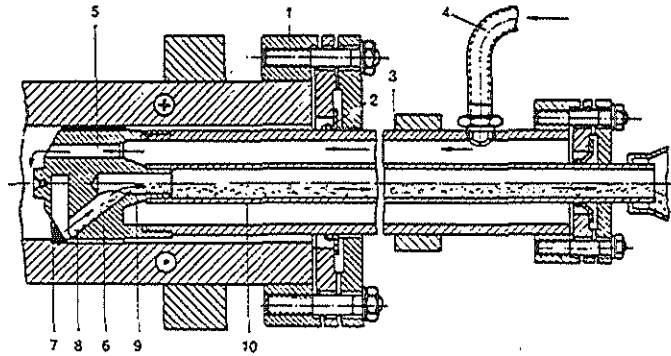
2.2.1.8. Furadeira para furos profundos

São considerados furos profundos aqueles em que o comprimento é de 10 a 100 vezes o diâmetro.

A melhor condição para obter um furo profundo e retilíneo é fazer girar a peça horizontalmente ao redor do eixo do furo, tendo a broca uma rotação em sentido contrário. Para trabalhar nestas condições existem máquinas e ferramentas especiais que podem usinar partindo do material sem furo inicial até cerca de 80 mm e comprimento de 3.000 mm.

A figura a seguir mostra uma máquina horizontal para furo profundo. A ferramenta possui pastilhas de metal duro soldados ao corpo de aço ôco. O óleo de corte é injetado, sob pressão, para a região de corte, por fora, retornando pelo tubo central, arrastando consigo o cavaco.

Para boa utilização deste processo é necessário que se produza cavacos curtos, pois se os cavacos forem longos pode ocorrer obstrução do retorno de fluido, ocasionando quebra da ferramenta.



- Perforatore a corona con circolazione di liquido.

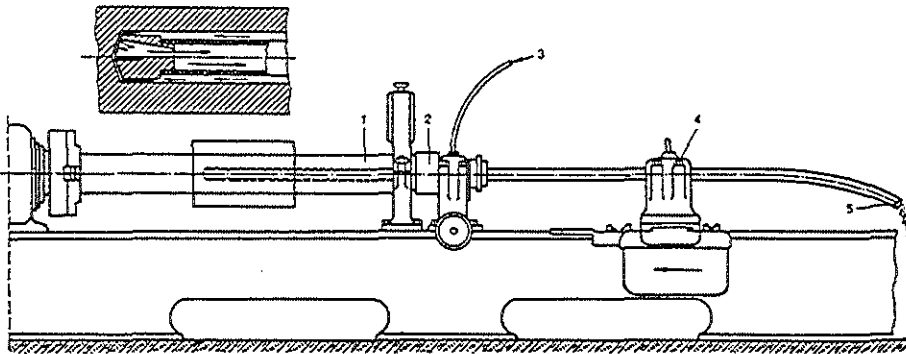


Figura 122 - Furadeira horizontal para furo profundo.

O número de ferramentas necessárias para fazer completamente um furo está relacionado com:

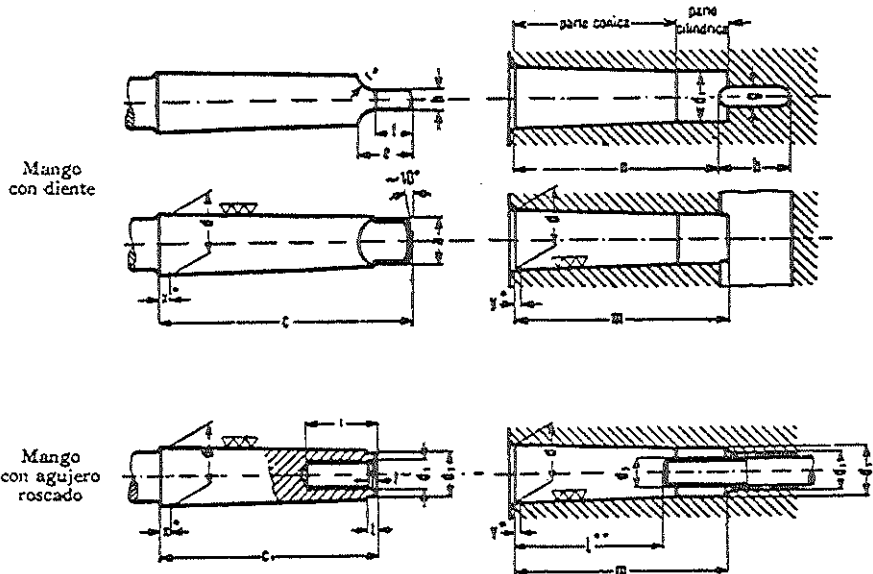
- . o diâmetro;
- . o comprimento do furo;
- . o grau de precisão requerido;
- . o grau de acabamento da superfície, e
- . a classe do material.

Como exemplo, a tabela a seguir ilustra a seqüência de furação de um cano de fusil de 8 mm de diâmetro e 800 mm de comprimento, perfeitamente retilíneo e liso.

Operação	Diâmetro do furo		Diâmetro de ferramentas mm
	mínimo	máximo	
Furação em cheio	7,6	7,7	7,65
1o. alargamento	7,8	7,85	7,83
2o. alargamento	7,87	7,92	7,90
3o. alargamento	7,93	7,97	7,95
4o. alargamento	7,97	8,0	7,90
Retificação	8,0	8,03	--

2.2.2. Ferramentas para Furar

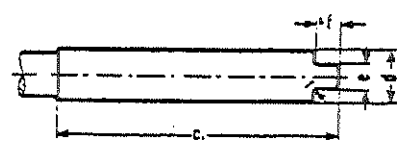
Uma ferramenta para furar é feita, em geral, de uma barra cilíndrica de aço rápido, tendo de um lado a ponta cortante e do outro a haste de fixação que pode ser cônica ou cilíndrica, cujas dimensões são normalizadas. As brocas de hastes cilíndricas são normalizados até 20 mm de diâmetro. Para brocas com diâmetros superiores a 15 mm, prefere-se a haste cônica, que permite uma fixação mais segura. A seguir, apresentam-se as características dimensionais da haste cônica métrica e morse.



Mango de la herramienta

Designación	d mm	Posición del plano de medida del diámetro d X+ mm	Conicidad Valores en		Mango con diente							Mango con agujero roscado			
			g ⁰	1:20	c	f	a	b	e	r	c ₁	d ₂	d ₃	l	
métrico 4	4	2 ⁺¹ ₀	5 ⁰ _{+0,030}	1:20	—	—	—	—	—	—	25	2	—	2,2	
métrico 6	6	3 ⁺¹ ₀	5 ⁰ _{+0,030}	1:20	—	—	—	—	—	—	35	3,6	—	2,5	
Morse 0	9,045	3,2 ^{+1,2} ₀	5,205 ⁰ _{+0,025}	1:19,212	59,5	6,5	6,9	3,9	10,5	4	53	5,5	—	2,5	
Morse 1	12,065	3,5 ^{+1,5} ₀	4,988 ⁰ _{+0,025}	1:20,047	65,5	8,5	8,7	6,2	13,5	6	57	8	6 MA	16 3	
Morse 2	17,780	4 ⁺² ₀	4,965 ⁰ _{+0,025}	1:20,020	78,5	10,5	13,0	6,3	16,5	6	68	13	10 MA	24 4	
Morse 3	23,825	4,5 ^{+2,4} ₀	5,020 ⁰ _{+0,020}	1:19,922	96	13	16,6	7,9	20	7	85	16	12 MA	28 4	
Morse 4	31,267	5,3 ⁺³ ₀	5,194 ⁰ _{+0,020}	1:19,254	123	15	24,6	11,9	24	9	108	24	16 MA	36 5	
Morse 5	44,399	6,3 ⁺⁴ ₀	5,263 ⁰ _{+0,020}	1:19,002	155,5	19,5	36,7	15,9	30,5	11	136	35	20 MA	45 6	
Morse 6	63,345	7,9 ⁺⁵ ₀	5,214 ⁰ _{+0,015}	1:19,189	217,5	26,5	51,3	19	45,5	17	189	50	24 MA	55 7	
métrico 80	80	8 ⁺⁴ ₀	5 ⁰ _{+0,015}	1:20	228	24	67	26	47	23	204	65	30 MA	65 8	
métrico 100	100	10 ⁺⁵ ₀	5 ⁰ _{+0,015}	1:20	270	28	85	32	68	30	242	85	36 MA	80 10	
métrico 120	120	12 ⁺⁶ ₀	5 ⁰ _{+0,010}	1:20	312	32	103	38	82	36	280	100	36 MA	80 11	
métrico 160	160	16 ⁺⁸ ₀	5 ⁰ _{+0,010}	1:20	396	40	139	50	88	48	358	125	45 MA	100 14	
métrico 200	200	20 ⁺¹⁰ ₀	5 ⁰ _{+0,010}	1:20	490	48	178	62	103	60	432	170	52 MA	120 18	

cuíques



Mango serie corta	Mango serie larga	Diente de arrastre			Diámetro d mm	Mango serie corta	Mango serie larga	Diente de arrastre			Diámetro d mm
c	c ₁	f	g	r		c	c ₁	f	g	r	
15	—	—	—	—	0,3	51	58	7	7	0,4	más de 13 hasta 15
17	—	—	—	—	más de 0,3 hasta 0,35	54	62	8	8	0,4	15 16
18	—	—	—	—	0,35 0,5	58	66	8	8	0,4	16 18
20	—	—	—	—	0,5 1,2	62	70	10	10	0,4	18 20
22	—	—	—	—	1,2 1,8	—	70	10	10	0,4	20 21
24	—	—	—	—	1,8 : menos de 2	—	70	11	11	0,6	21 22
24	30	2	1,1	0,2	de 2 hasta 2,2	—	75	11	11	0,6	22 24
25	35	2	1,2	0,2	más de 2,2 2,5	—	75	13	13	0,6	24 26
25	35	2	1,4	0,2	2,5 2,6	—	80	13	13	0,6	26 27
28	40	2	1,4	0,2	2,6 2,9	—	80	14	14	0,6	27 29
28	40	2,2	1,6	0,2	2,9 3	—	85	14	14	0,6	29 30

Figura 123 - Haste cônica de brocaxe haste cilíndrica

As ferramentas usadas com maior frequência são as brocas helicoidais, empregando-se, também outros tipos como brocas de lança, brocas para furos profundos e brocas de centrar.

• BROCA DE LANÇA

É uma ferramenta de uso restrito devido a sua limitada capacidade de descarregar o cavaco produzido. Empregam-se, com certa vantagem, para desbaste de furos longos e de grande diâmetro executados em torno; a posição horizontal facilita a descarga do cavaco forçado para fora por uma jato de líquido refrigerante sob pressão.

A broca de lança apresenta, na frente, duas superfícies de saída que se encontram formando uma aresta. As superfícies de saída e as de folga formam as duas arestas de corte.

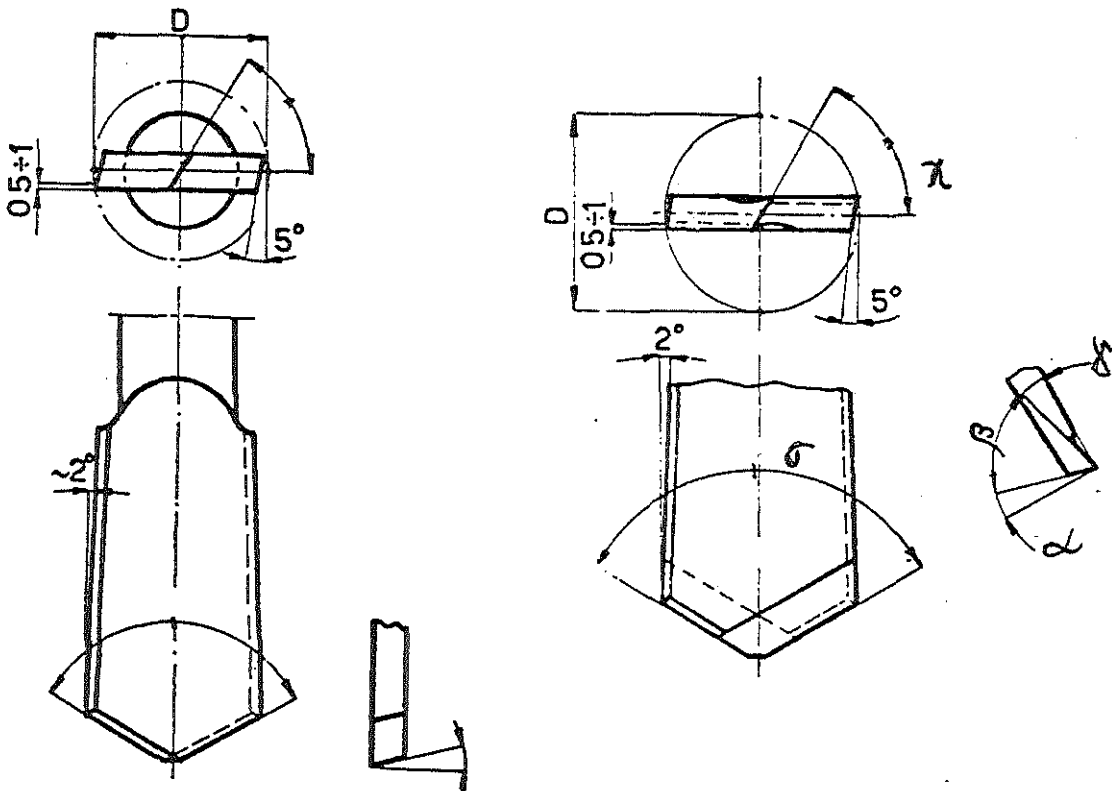


Figura 124 - Broca de lança.

Os ângulos recomendados para o aço, ferro fundido e bronze são os seguintes.

$$\alpha = 15^\circ \text{ a } 20^\circ$$

$$\beta = 65^\circ \text{ a } 55^\circ$$

$$\gamma = 10^\circ \text{ a } 15^\circ$$

$$\sigma = 120^\circ$$

$$\chi = 62^\circ \text{ a } 54^\circ$$

• BROCA HELICOIDAL

A ferramenta mais empregada para a produção de furos cilíndricos é a broca helicoidal, que deve fornecer os seguintes resultados:

- produzir furos precisos (H_{11}) e retilíneos;
- penetrar no material com facilidade;
- descarregar com facilidade os cavacos através dos sucos helicoidais;
- máxima duração do fio cortante. Para isto, deve ter:
 - a) ângulo de saída apropriado;
 - b) ângulo de hélice apropriado;
 - c) uma correta centralização.

O aperfeiçoamento das brocas é muito aquém dos desenvolvimentos das máquinas operatrizes e do ferramental de diversas outras operações. O emprego de pastilhas de metal duro é limitado e a cerâmica não pode ser usada com sucesso em nenhum caso, permanecendo os limites impostos pelo aço rápido que é o material mais utilizado.

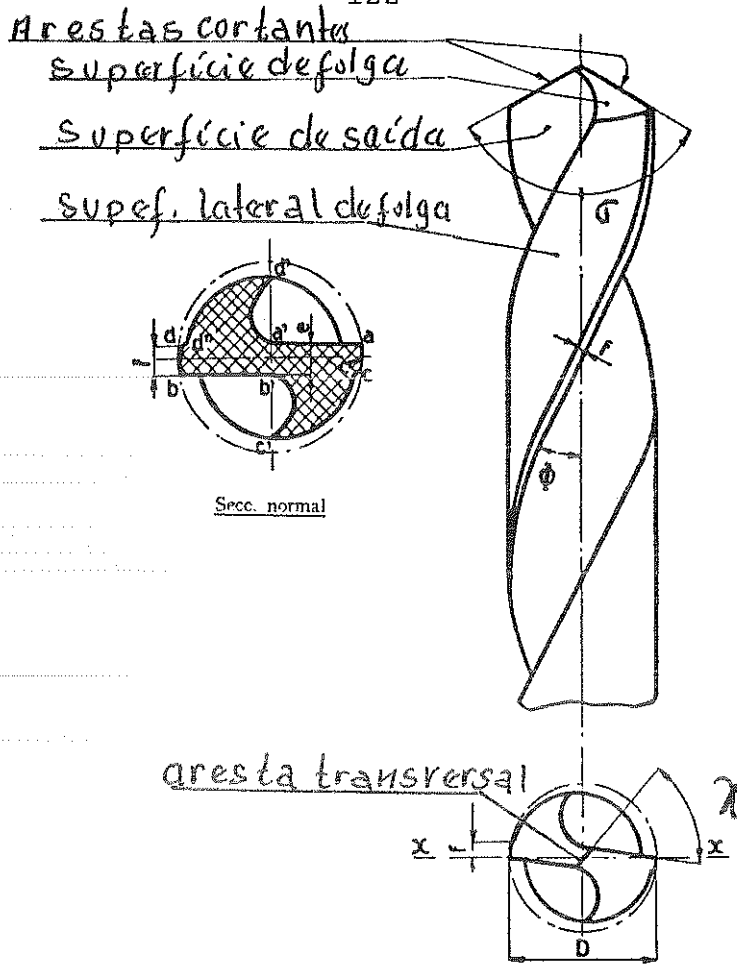


Figura 125 - Elementos de uma broca helicoidal.

- . f - guia da broca no furo. A sua largura é normalizada de acordo com o diâmetro.
- . ϕ - ângulo de hélice

latão - 15°	ferro fundido - 30°
aço - 30°	metais leves - 40 ~ 45°
- . σ - ângulo de ponta

aço e ferro fundido - 116° a 120°
chapas finas - 140°
- . γ - ângulo de saída
depende do ângulo de hélice.
- . β - ângulo de cunha
- . α - ângulo de folga
todos os materiais: 5° a 20°
- . χ - ângulo de posição da aresta secundária
todos os materiais: 60° a 50°.
- . P - passo da hélice
$$P = (6 \text{ a } 8) D = \frac{\pi D}{\text{tg } \gamma}$$

• FERRAMENTAS PARA ABRIR FUROS PROFUNDOS

As brocas helicoidais tem as seguintes desvantagens, quando utilizadas na usinagem de ferros profundos:

- tendem a desviar por causa da carga aplicada na ponta devido a força de penetração;
- necessitam ser freqüentemente tiradas dos furos para a descarga do cavaco;
- os canais helicoidais enfraquecem muito o núcleo que dá resistência à broca; também prejudicam a guia da broca no furo;
- a lubrificação é difícil para furos pequenos.

O problema foi resolvido pelas brocas a canhão, que tem uma única aresta cortante. Estas ferramentas são feitas de aço rápido, tem a forma cilíndrica e são cortadas por uma fração de ângulo de giro. Geralmente, são feitas de pequeno comprimento e aplicadas a um mandril de aço de construção mecânica que tem um comprimento superior à profundidade desejada. O furo que se produz pouco a pouco, serve de guia para a broca e o mandril, os quais são obrigados a manterem-se em linha reta. As figuras a seguir mostram algumas construções.

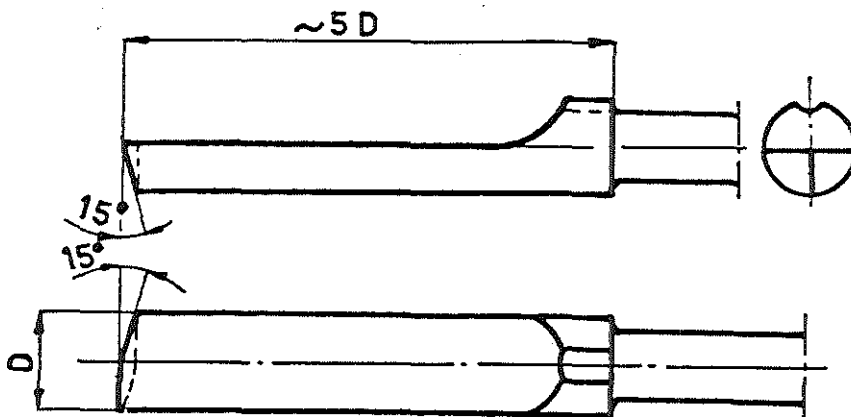


Figura 126 - Broca cortada pela metade (furos até 27 mm).

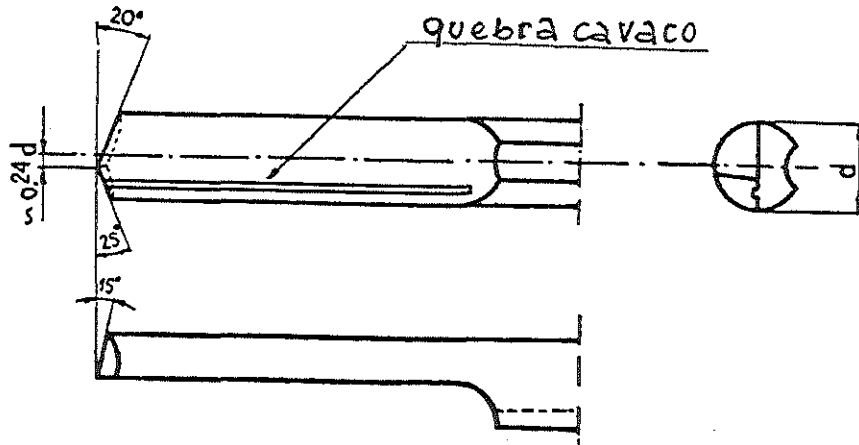


Figura 127 - Broca canhão com quebra cavaco, cortada pela metade (Furos até 25 mm).

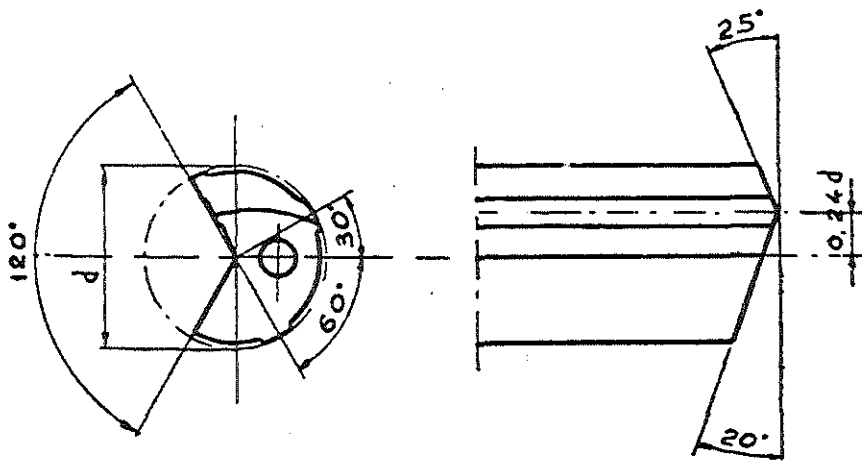


Figura 128 - Broca canhão cortada de um terço (Furos \varnothing 17 a 60mm).

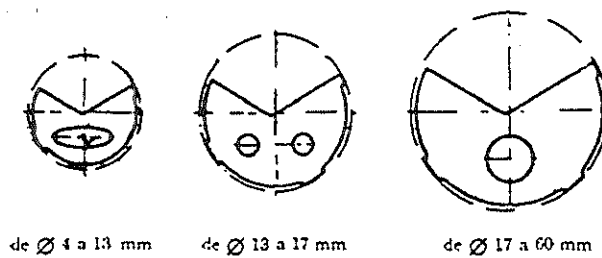


Figura 129 - Diversas construções de brocas.

A expulsão de cavaco durante a furação é de grande importância e a broca de um só fio de corte se presta muito bem para isto. Sua haste, que consiste em um tubo de aço laminado, permite a vazão de uma quantidade apreciável de líquido de refrigeração, o qual, depois de haver alcançado a ponta da broca, retorna através de um canal apropriado, arrastando também o cavaco, assegurando a refrigeração e a lubrificação.

A operação de trepanação é feita por uma ferramenta composta de um tubo de comprimento superior a largura da peça a ser usinada, tendo na extremidade uma coroa formada por dentes afiados segundo um perfil adequado.

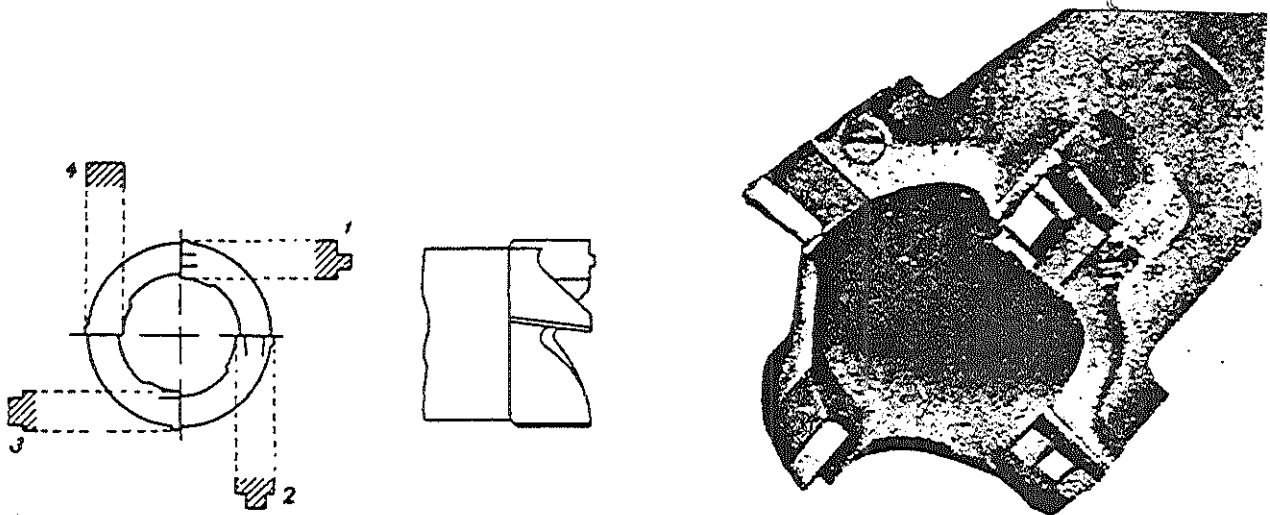


Figura 130 - Ferramenta para trepanação.

• BROCA DE CENTRAR

São ferramentas para executar furo de marcação de centro. Estas brocas combinam uma operação de furar e escariar.

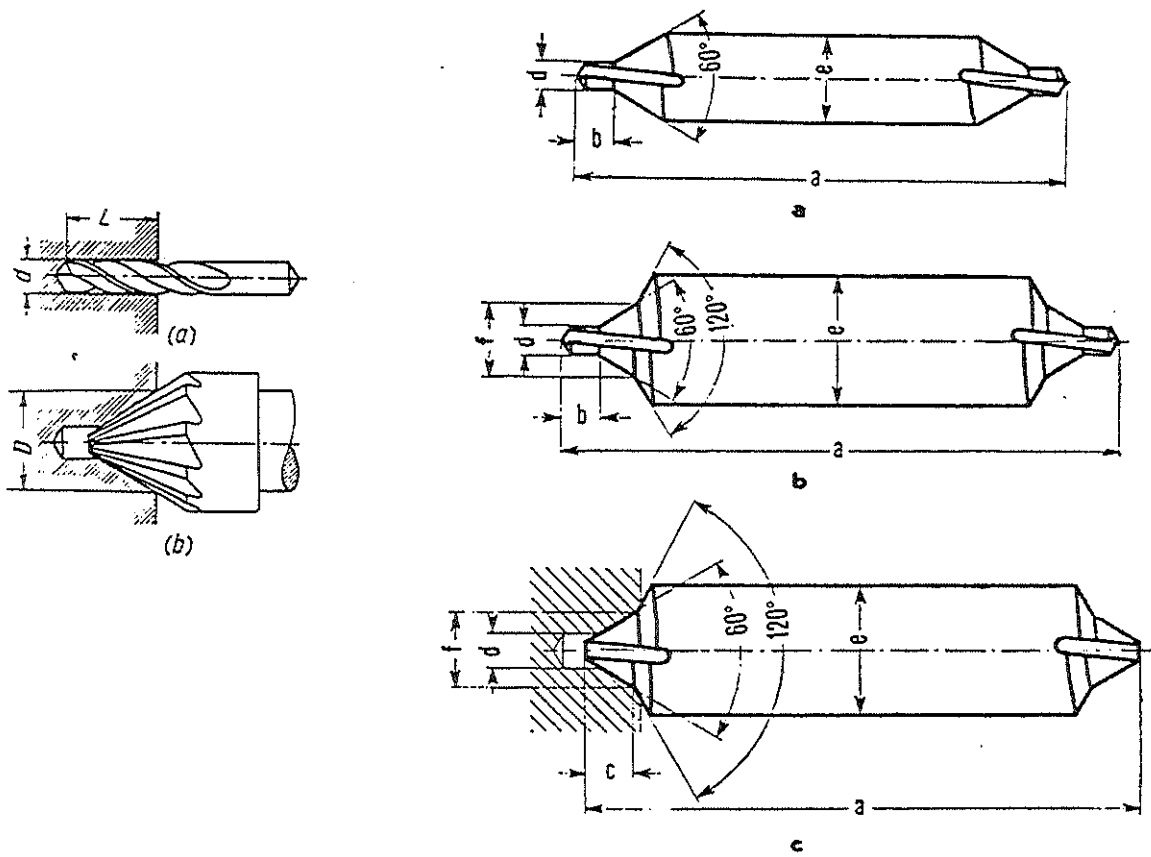


Figura 131 - Broca de centro.

● ESCAREADOR PARA REBAIXAMENTO

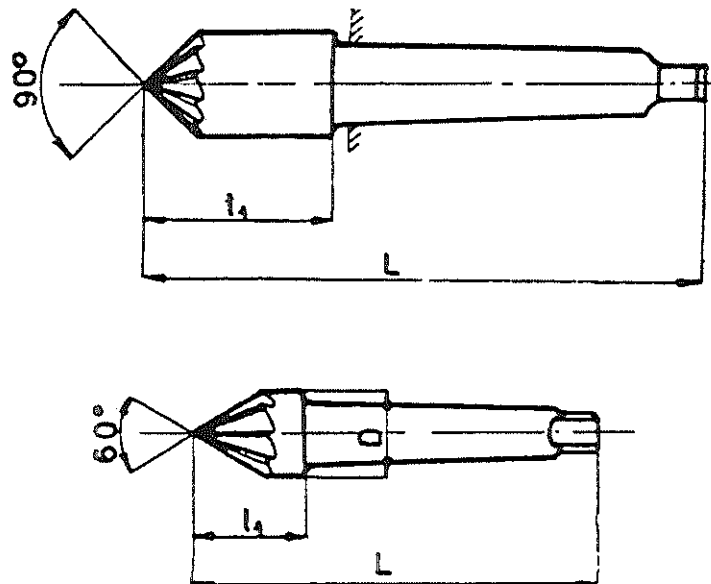


Figura 132 - Escariadores diversos.

Os escariadores são ferramentas multi-cortante que servem para fazer o acabamento na entrada de furos.

2.2.3. Fixação da Broca na Furadeira

As brocas, assim como alargadores, machos, escariadores, etc., devem ser fixados ao eixo-árvore da máquina. Esta adaptação pode ser direta ou indireta, quando existe um elemento intermediário para a broca.

• FIXAÇÃO DIRETA

Neste caso, a haste cônica da broca, encaixa-se perfeitamente com cavidade cônica existente na extremidade do eixo-árvore da máquina, sendo o torque transmitido diretamente da máquina para a ferramenta.

Os cones mais usados são o cone métrico e o cone morse normalizados para várias medidas.

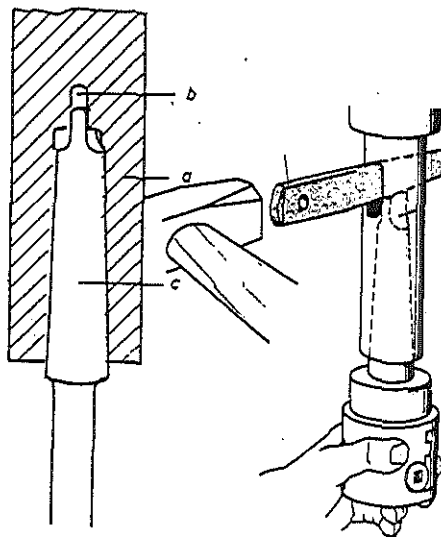


Figura 133 - Fixação direta.

• FIXAÇÃO INDIRETA

Neste caso, ou pelo fato da haste de broca ser paralela ou pelo fato do cone do eixo da máquina ser diferente da broca, é necessário algum elemento intermediário, sendo os mais comuns os mandris e as buchas de redução.

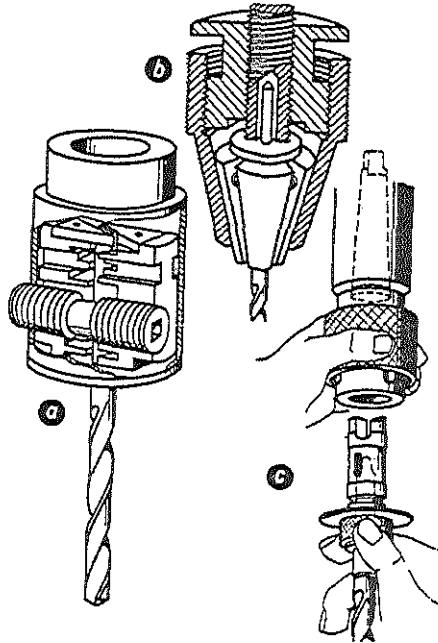


Figura 134 - Mandris de fixação.

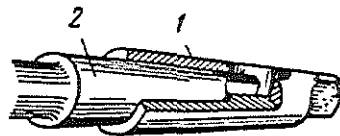


Figura 135 - Bucha de redução.

1 - Broca; 2 - Bucha.

2.2.4. Força e Potência na Furação com Broca Helicoidal

Em qualquer trabalho de furação, para vencer o momento de torção e a força de avanço, verificam-se as seguintes resistências:

- . Resistência devido ao corte do material nas duas arestas principais de corte;
- . Resistência devido ao corte e à extrusão (esmagamento) do material, na aresta transversal de corte;
- . Atrito nas guias e atrito entre a superfície de saída da broca e cavaco.

A figura apresenta a participação destas grandezas para um caso particular.

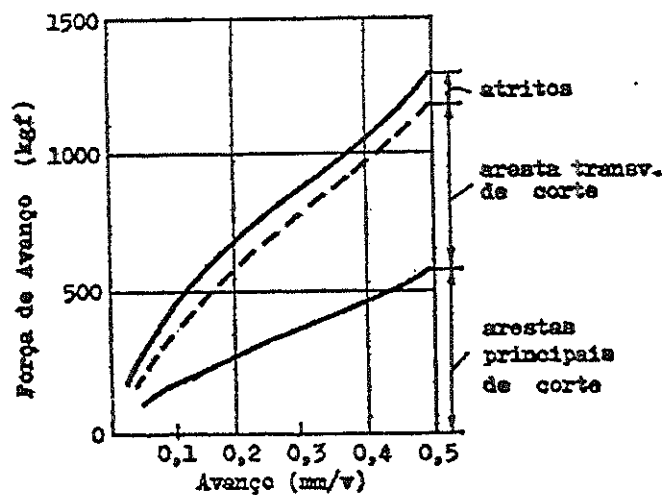
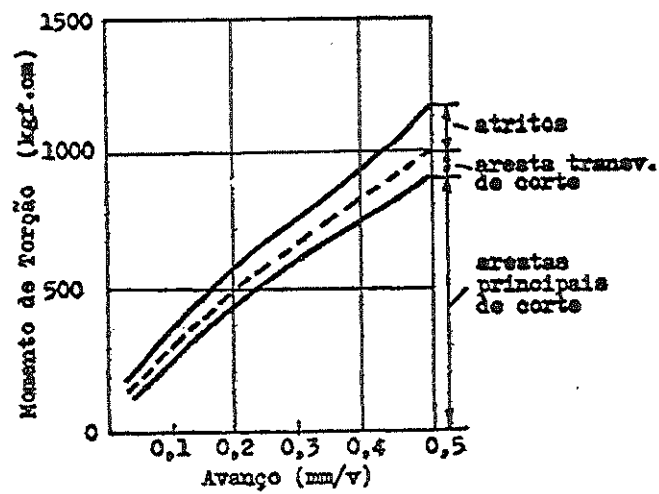


Figura 136 - Participação das arestas cortantes e dos atritos no momento total de torção e na força de avanço.

• MOMENTO DE TORÇÃO NA FURAÇÃO

A fórmula de Kienzle ($P_c = k_{S1} \cdot b \cdot h^{1-2}$) foi tomada como ponto de partida para cálculo do momento de torção na furação, chegando-se a expressão final:

$$M_t = C_3 \cdot D^2 \cdot a^{1-2}$$

para furação em cheio com broca helicoidal, onde:

D = diâmetro de broca, em mm

a = avanço, em mm/volta

$x = \sigma/2 = 59^\circ$

C_3 = coeficiente, que pode ser obtido através do ábaco:

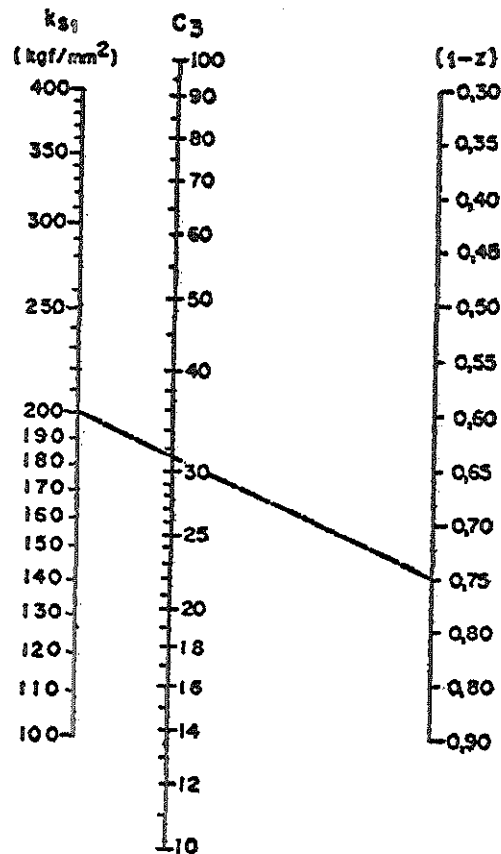


Figura 137 - Ábaco para obtenção do coeficiente C_3 .

O valor de $(1-Z)$ pode ser obtido pela tabela abaixo:

Barra nº	Aço ABNT/SAE ou Villares	σ_r kgf/mm ²	Pressão unitária de corte kgf/mm ²		(1-z)
			média \bar{k}_{s1}	Lim.sup.95% k_{s1}	
10	1085	88,5	245 ± 5	270	0,86 ± 0,04
13	1020	38,5	191 ± 7	234	0,77 ± 0,08
31	1065	83,2	200 ± 7	243	0,84 ± 0,07
32	1055	78,3	148 ± 2	160	0,77 ± 0,03
37	1025	45,0	158 ± 3	177	0,75 ± 0,04
8	52100	64,0	281 ± 6	313	0,77 ± 0,05
46	VM20	64,9	154 ± 6	186	0,72 ± 0,07
47	VND	74,4	240 ± 8	288	0,76 ± 0,08
48	VS60	96,0	154 ± 11	220	0,68 ± 0,17
49	VW 3	71,7	250 ± 8	300	0,81 ± 0,07
50	VM0	73,0	284 ± 7	326	0,87 ± 0,05
51	VCO	82,6	347 ± 8	391	0,92 ± 0,05

TABELA 1 - Valor de k_{s1} e (1-Z) para furação.

• POTÊNCIA DEVIDO A FORÇA PRINCIPAL DE CORTE

A potência absorvida devido P_c pode ser calculada com base no momento de torção, pois:

$$P_c = \frac{2M_t}{D} \quad e \quad N_c = \frac{P_c \cdot v_c}{60 \cdot 75} \text{ CV}$$

Deve-se salientar que, em furação, a potência absorvida devido a força de avanço é significativa embora muito menor que a potência de corte ($N_a \cong 0,01 \cdot N_c$).

• ROTAÇÃO E AVANÇO DE FURAÇÃO

Adotados o avanço a (mm/volta) e a velocidade de corte v (m/mín.) através de tabelas ($a = 0,1$ a $0,5$ mm/volta e

v = 15 a 200 m/min.) conforme o material de broca, o material a ser usinado e o diâmetro de broca, valem as expressões:

$$n = \frac{v \cdot 1.000}{\pi d} \text{ rpm}, \text{ sendo} \quad \begin{array}{l} v \text{ em m/min.} \\ d \text{ em mm.} \end{array}$$

$$T = \frac{L}{a \cdot n}, \text{ sendo} \quad \begin{array}{l} L - \text{profundidade em mm.} \\ a = \text{avanço em mm/volta.} \\ n = \text{rotação em rpm.} \\ T = \text{tempo em minutos.} \end{array}$$

2.3. Processo de Mandrilamento

Esta operação consiste em alargar uma câmara cilíndrica ou um furo, a fim de levá-los à medida desejada. O mandrilamento executado pela clássica máquina mandriladora, apresenta muita analogia com o torneamento interno, pelo fato que a ferramenta remover o cavaco segundo uma trajetória circular, com o seguinte a diferença:

- . torneamento: a peça gira e a ferramenta fica parada;
- . mandrilamento: a peça fica parada e a ferramenta gira.

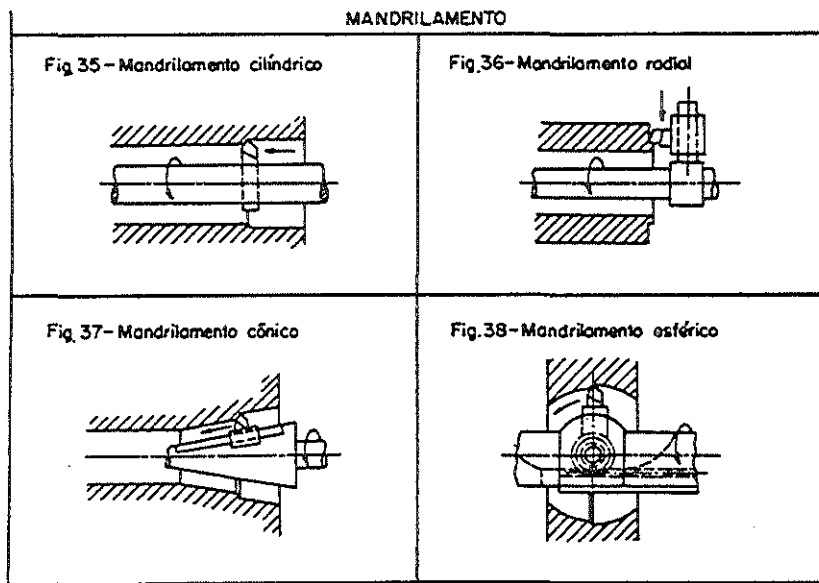


Figura 138 - Operações de mandrilamento.

As operações em mandriladora são preferidas para as peças de notáveis dimensões, ou então de difícil manuseio, como carcaças de máquinas, bases de máquinas, etc., para as quais é difícil e perigoso um posicionamento sobre placa rotatória de um torno.

Com o mandrilamento se obtém superfícies cilíndricas ou cônicas internas (furos e câmaras) segundo eixos perfeitamente paralelos entre si e com afastamentos precisos dentro de tolerância estreita.

2.3.1. Mandriladoras

As mandriladoras atuais são máquinas universais, pois além da operação específica de mandrilamento, elas podem executar os faceamentos, as fresagens, roscamentos etc..

2.3.1.1. Mandriladora horizontal de mesa

As mandriladoras modernas compreendem as seguintes partes principais:

- A - barramento;
- B - montante para cabeçote;
- C - cabeçote com porta mandril;
- D - montante para luneta;
- E - luneta;
- F - carro com a mesa porta-peça;
- G - instrumentos de controle de medidas.

A peça a ser trabalhada é colocada sobre a mesa da máquina que pode ser movimentada manualmente ou por meios mecânicos, no sentido longitudinal ou transversal com respeito a base da máquina.

As ferramentas de corte são guiadas e giradas pelo eixo-mandril do cabeçote da mandriladora, que é montado em guias usinadas no montante parafusado à base de máquina e pode ser movimentado no sentido vertical.

Hastes porta-ferramentas muito longas e pesadas não podem ser suportadas somente pelo mandril do cabeçote. Usa-se, nestes casos, a luneta montada sobre o montante traseiro que se mantém sempre alinhado com a linha de centro do mandril.

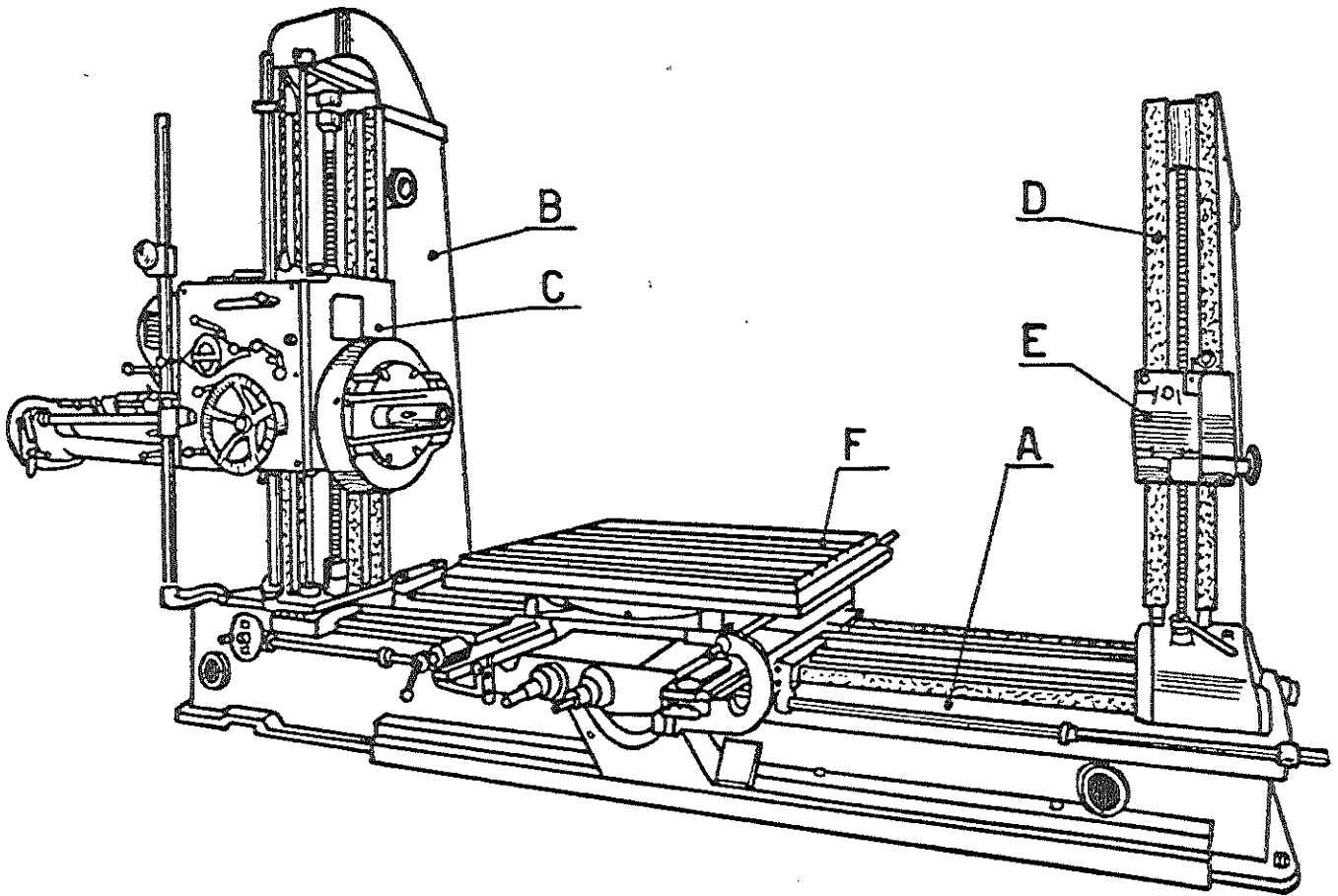


Figura 139 - Mandriladora horizontal.

• CABEÇOTE PORTA MANDRIL

É uma das partes essenciais da mandriladora, quer porque o mandril porta-ferramenta recebe dele o movimento fundamental de rotação, quer porque da precisão do conjunto cabeçote-montante B, depende a precisão da própria máquina e, então, a precisão nas cavidades que aparecerão nas peças após o mandrilamento.

O cabeçote compõe-se das seguintes partes principais:

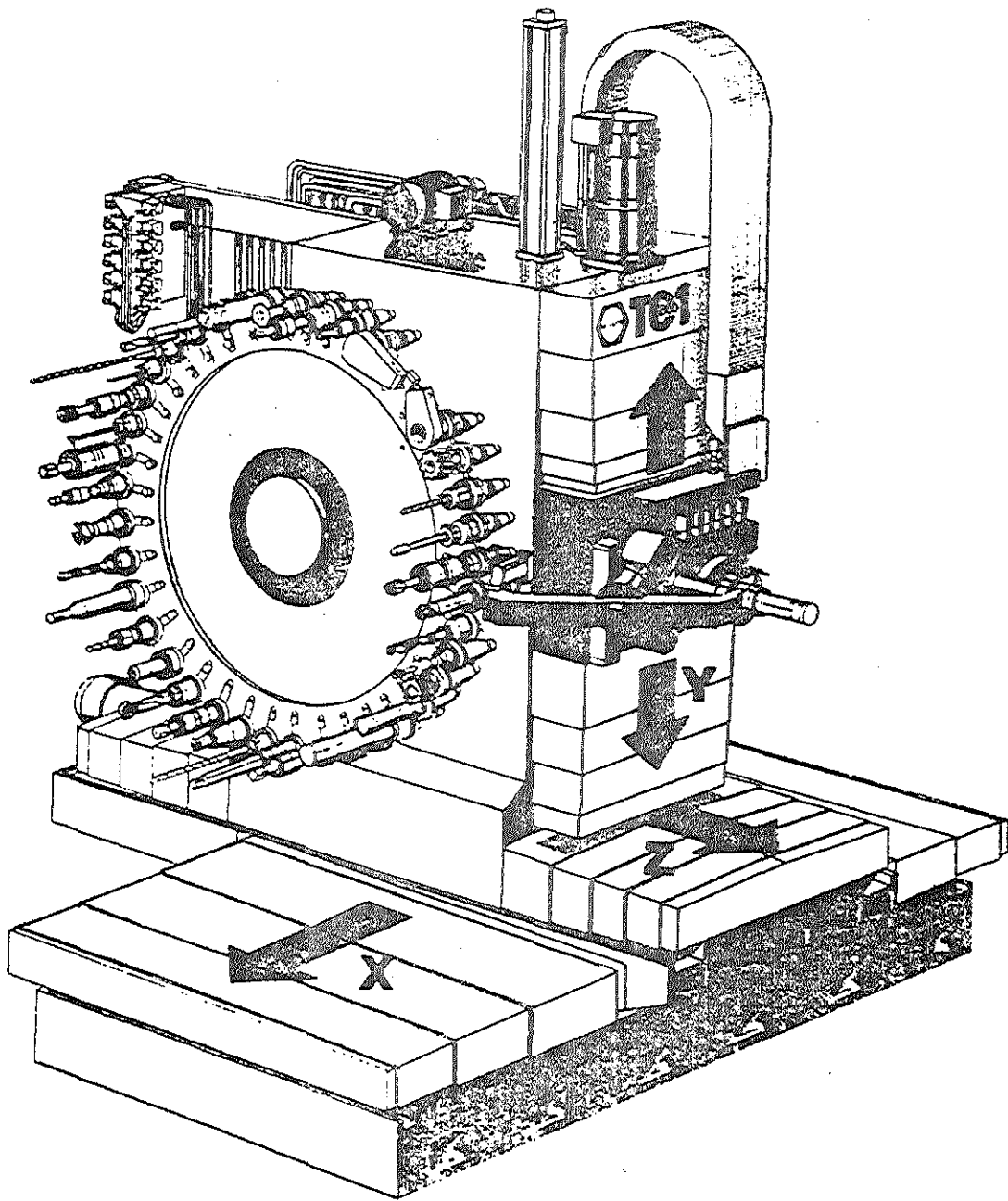


Figura 140 - Centro de usinagem CNC horizontal com magazine de ferramentas para troca automática.

- . caixa
- . berço
- . placa giratória com mandril
- . comandos.

- A placa tem a finalidade de suportar ferramentas com a possibilidade de ser deslocada radialmente, de modo a poder executar faceamentos perfeitamente normais ao eixo de rotação.
- O mandril que tem a possibilidade de deslocamento axial, apresenta-se em sua extremidade com um furo cônico, no qual podem ser montadas várias ferramentas, como brocas, alargadores, fresas, cabeçotes broqueadores, como o da figura 141.

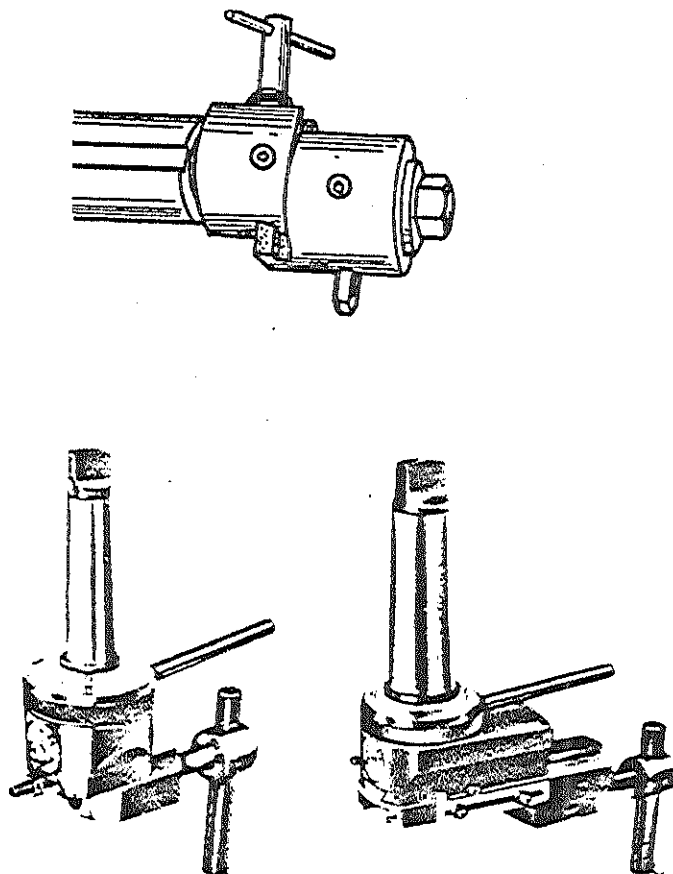


Figura 141 - Mandril porta-lâmina registrável radialmente, empregado para o mandrilamento de câmaras.

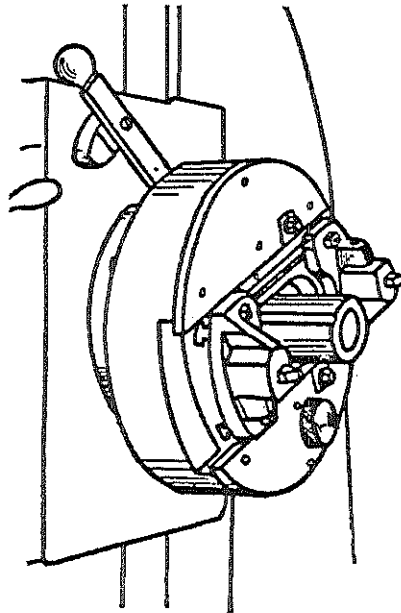


Figura 142 - Placa porta-ferramenta para o faceamento de planos com a mandriladora horizontal.

A transmissão do movimento de trabalho será possível por:

- engate;
- desengate;
- inversão de marcha;
- variação de velocidade e alimentação;
- rotação do mandril, com placa parada;
- rotação da placa com mandril parado;
- rotação da placa e do mandril.

A seguir apresenta-se o cinematismo de transmissão entre o motor, placa e mandril.

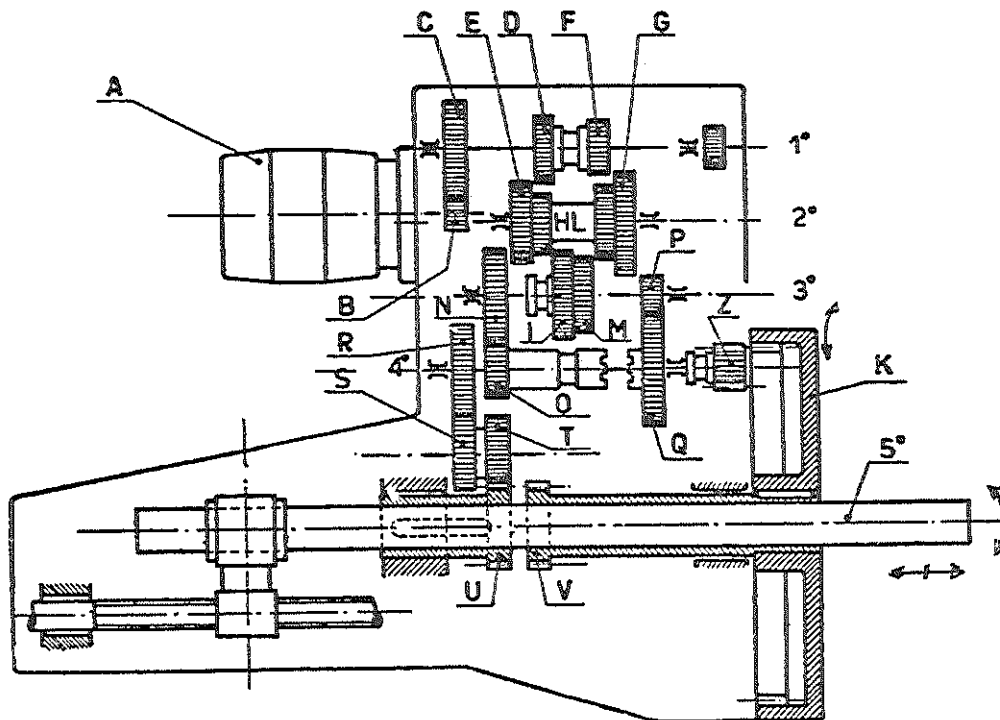


Figura 143 - Esquema dos cinematismo de transmissão entre o motor e o mandril.

• MÉTODO DE USINAGEM

Com a mandriladora universal podem-se efetuar muitas operações. entre as quais:

- a) Mandrilamento cilíndrico;
- b) Faceamento;
- c) Mandrilamento cônico;
- d) Mandrilamento esférico.
- e) roscamento;
- f) fresamento, etc..

A figura a seguir apresenta diversas montagens possíveis.

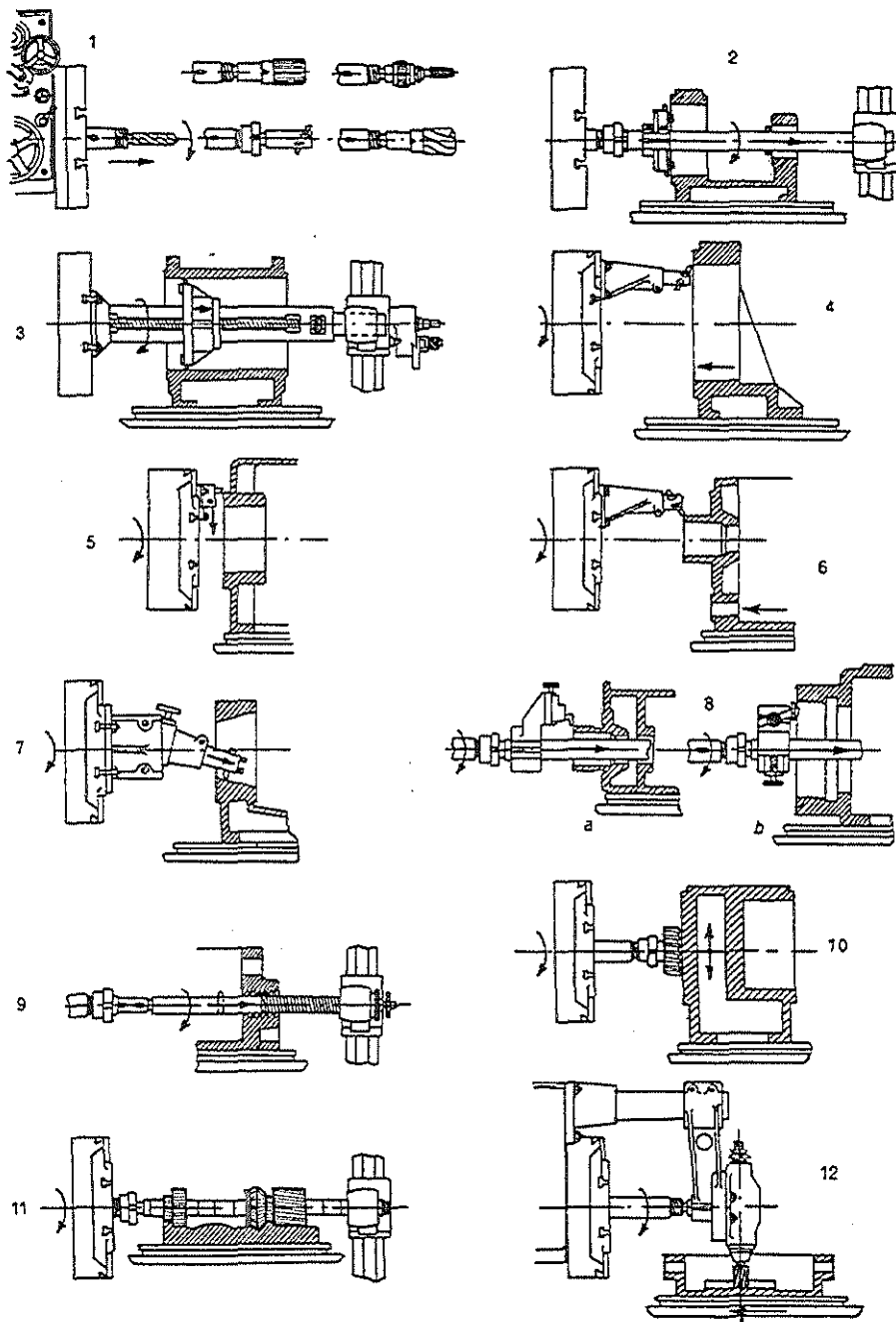


Figura 144 - Diversas montagens para mandrilamento.

- 1 - Mandrilamento cilíndrico para furo de diâmetro pequeno com ferramenta montada sobre o mandril com deslocamento (figura 144/1,2). A ferramenta tem movimento de corte e de avanço.
- 2 - Mandrilamento de furo de grande diâmetro e comprimento pequeno: a ferramenta pode ser montada sobre o mandril que gira e avança (figura 144/3). Na montagem da figura 144/4 o eixo do mandril deve coincidir com o eixo do furo e o suporte da ferramenta é montado sobre a placa deslocado radialmente para dar o diâmetro desejado; o avanço; neste caso, é dado à mesa porta peça.
- 3 - Faceamento com bico de ferramenta: a ferramenta é montada sobre um suporte que tem movimento radial nas guias da placa, assumindo assim, o movimento de corte e avanço (figura 144/5).
- 4 - Torneamento cilíndrico externo de pequena extensão: a ferramenta é montada em um suporte que, por sua vez, é fixado na placa, cujo eixo deve coincidir com o eixo da parte cilíndrica a ser torneada; o avanço é dado à mesa porta peça (figura 144/6).
- 5 - Mandrilamento cônico de pequena extensão: um suporte porta-ferramenta especial é montado à placa. A ferramenta neste caso, tem o movimento de rotação e avanço oblíquo (figura 144/7).
- 6 - Rosqueamento externo: um porta-ferramenta é montado sobre o mandril deslizante, o qual tem movimento de rotação e avanço; a peça é fixa (figura 144/8a).
- 7 - Roscamento externo: é possível uma solução análoga a precedente (figura 144/8b). Outra solução: a barra porta-ferramenta pode ter na extremidade um gabarito de passo igual a que se deseja usinar, determinando o avanço do mandril (figura 144/9).

- 8 - Fresamento frontal: a fresa é montada sobre o mandril deslizante, dotada de movimento de rotação; o movimento de avanço é dado à peça, se em direção horizontal, ao cabeçote se em movimento vertical (figura 144/10).
- 9 - Fresamento de forma: monta-se um mandril porta-fresas no mandril do cabeçote e na luneta. A rotação é dada à ferramenta e o avanço à peça que está montada sobre a mesa (figura 144/11).
- 10 - Fresamento vertical: é feito de modo análogo ao anterior, porém com a intervenção de um cabeçote vertical, acionado pelo mandril da máquina (figura 144/12).
- 11 - Mandrilamento esférico: o porta-ferramenta é montado sobre o mandril deslizante, que tem movimento de rotação; imprime-se uma rotação à ferramenta em torno do eixo normal ao do mandril e passando pelo centro da esfera.

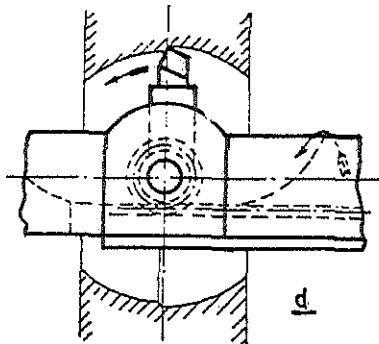


Figura 145 - Mandrilamento esférico.

2.3.1.2. Mandriladora horizontal de montante móvel

O montante que suporta o cabeçote é montado sobre uma base na qual desliza sobre guias. Defronte à mandriladora

montam-se mesas diretamente no solo para fixação de peças, possibilitando a usinagem de peças de grande comprimento que permanecem paradas. É comum, ainda, na extremidade destas mesas existir uma mesa porta-peça semelhante a da mandriladora horizontal.

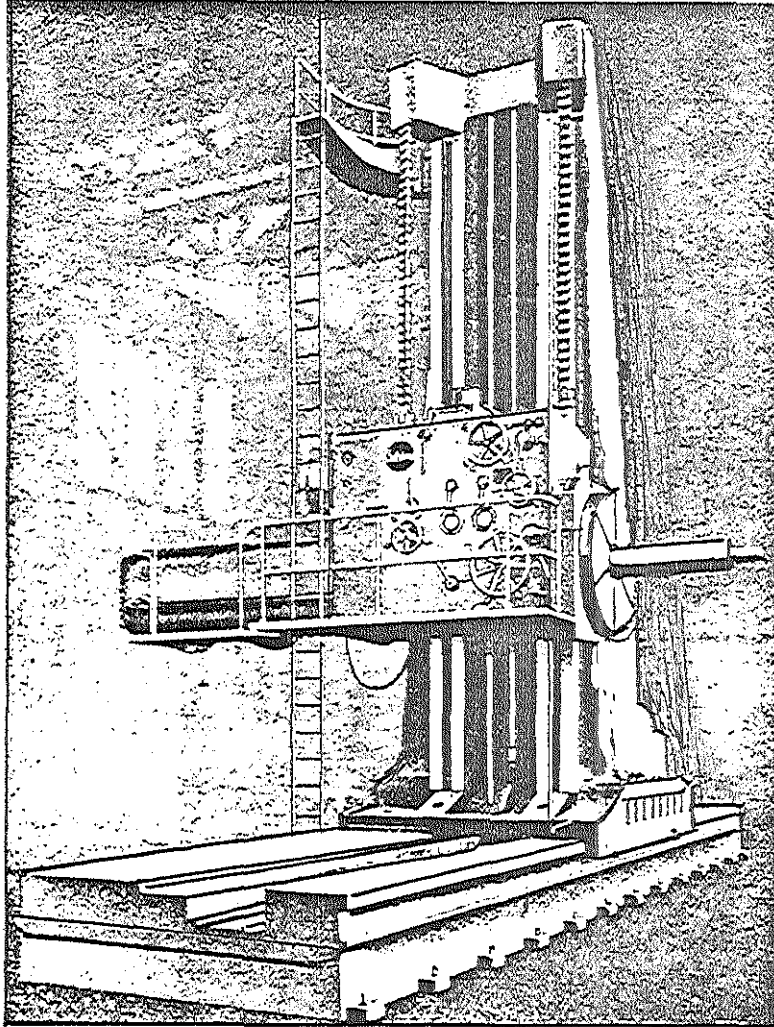


Figura 146 - Mandriladora horizontal de montante móvel.

2.3.1.3. Mandriladora múltipla

Nas usinagens de grande série, quando é preciso produzir muito e a baixo custo, é indispensável executar

contemporaneamente diversos mandrilamentos. A peça deve ser, então, atacada por diversas partes pelas ferramentas aplicadas a um grupo de cabeçotes situadas por cima, ou ao lado, de um embasamento.

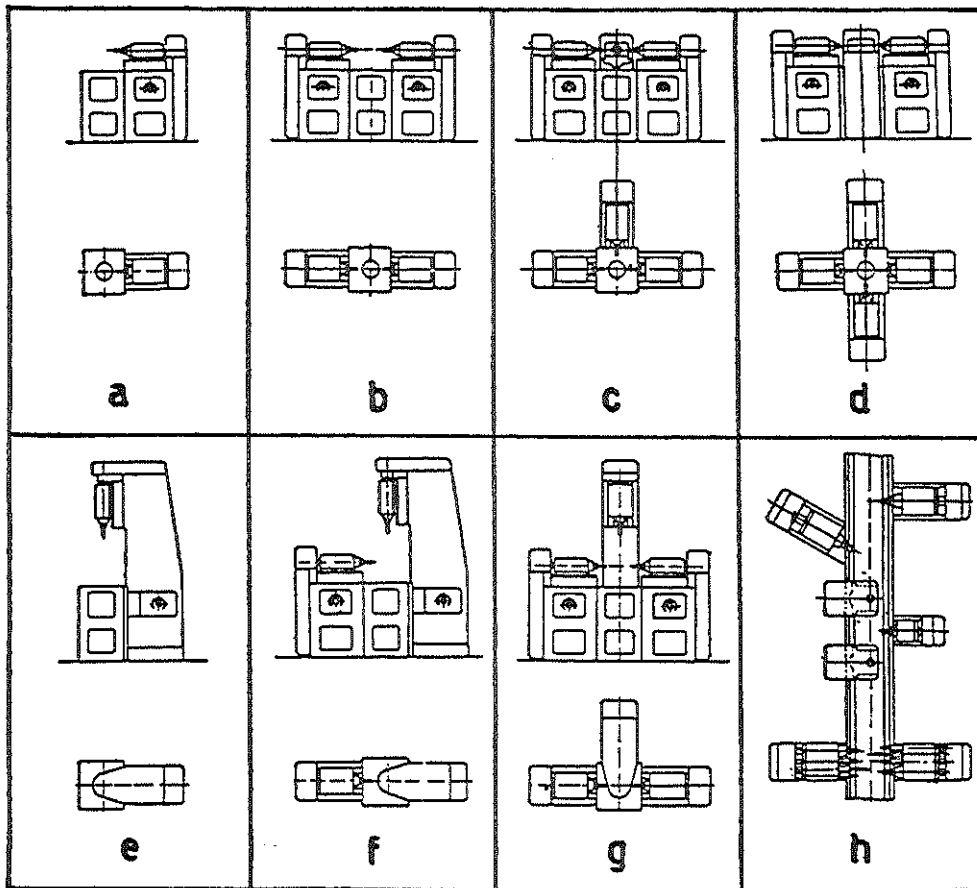


Figura 147 - Diversas posições dos cabeçotes para mandriladoras múltiplas.

a, mandriladora com um cabeçote horizontal; b, mandriladora com dois cabeçotes horizontais; c, mandriladora com três cabeçotes horizontais; d, mandriladora com quatro cabeçotes horizontais; e, mandriladora com um cabeçote vertical; f, mandriladora com um cabeçote horizontal e um vertical; g, mandriladora com dois cabeçotes horizontais e um vertical; h, mandriladora com cinco cabeçotes horizontais e dois verticais.

O embasamento destas máquinas não é monobloco, mas são elementos padronizados de modo a torná-los combináveis entre eles, podendo-se formar grupos de diversas unidades operatrizes.

• MÉTODOS DE USINAGEM

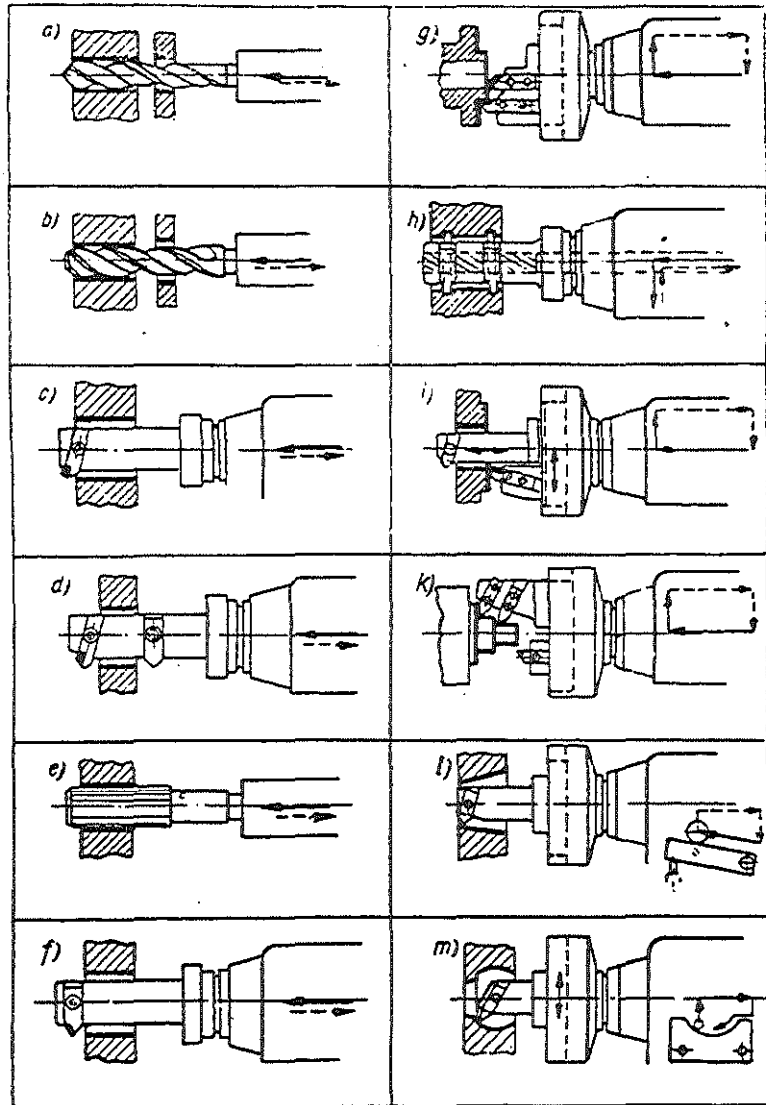


Figura 148 - Diversas operações possíveis com as unidades mandriladoras.

Execuções com as máquinas de simples translação axial: a, furação; b, alargamento com broca de correção; c, mandrilamento com uma só lâmina; d, mandrilamento de desbaste e de acabamento com duas lâminas sucessivas; e, mandrilamento com alargador; f, mandrilamento com uma lâmina. Execuções com máquinas de translação combinada; g, faceamento e torneamento de ajuste; h, execução de duas canaletas internas numa câmara; i, mandrilamento dum furo cilíndrico e faceamento; k, torneamento externo de duas superfícies cilíndricas de diferente diâmetro; l, mandrilamento cônico (com hidrocópia); m, mandrilamento esférico (com hidrocópia).

É possível executar, com diversas unidades instaladas segundo uma ordem, várias operações simultaneamente.

Exemplos

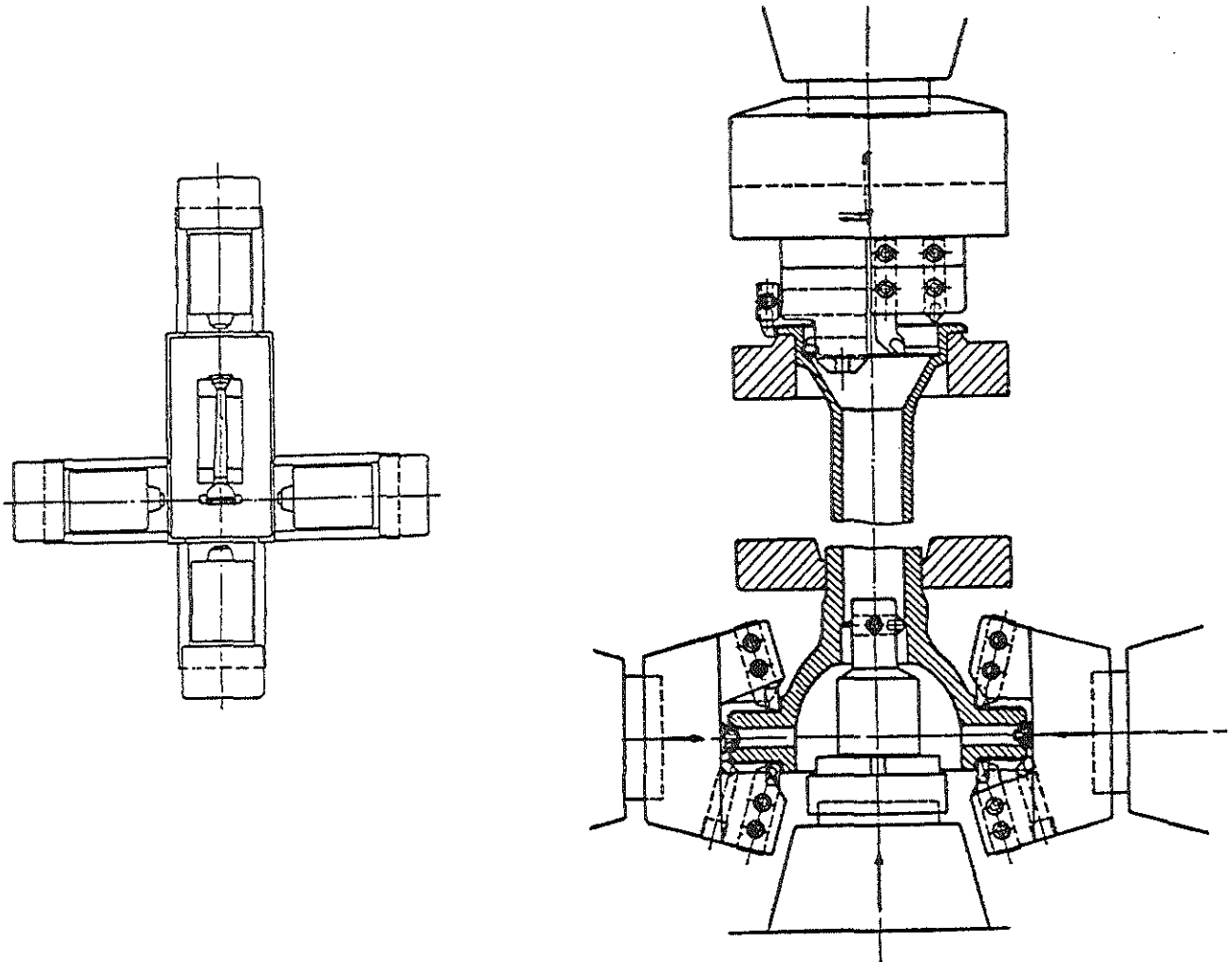


Figura 149 - Usinagem completa duma caixa para ponte de automóvel mediante quatro unidades mandriladoras.

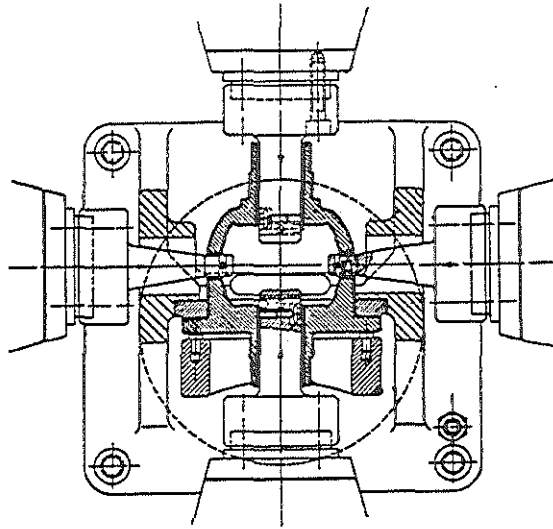


Figura 150 - Usinagem das sedes duma caixa do diferencial para automóvel.

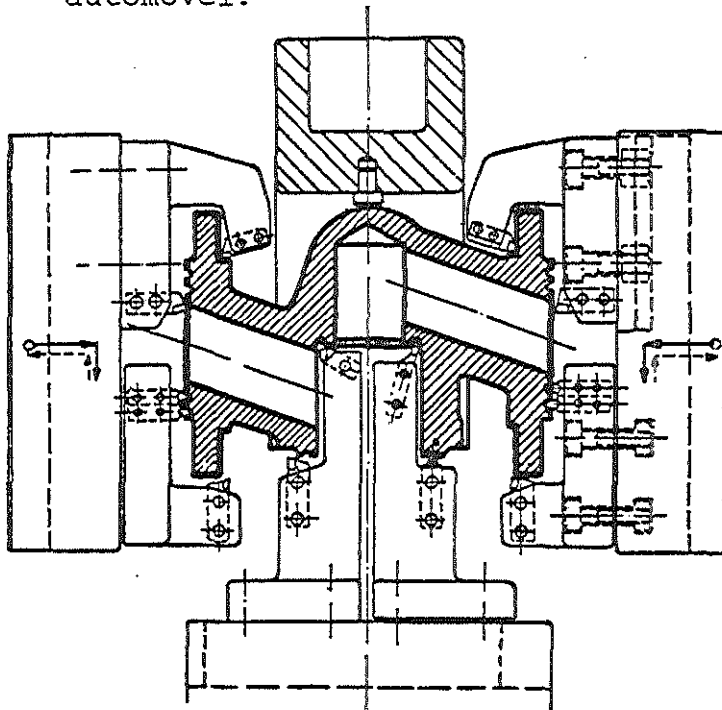


Figura 151 - Operação de mandrilamento, torneamento e faceamento de um corpo de válvula.

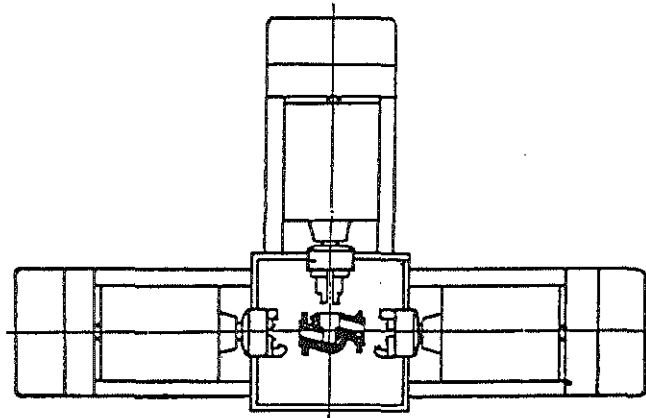


Figura 152 - Disposição dos três cabeçotes para usinagem anterior.

2.3.2. Ferramentas para Mandrilar

A operação de mandrilamento propriamente dita é feita com bicos de ferramenta fixados a uma barra porta-ferramenta (mandril), como mostra as figuras a seguir, utilizando hastes cilíndricas.

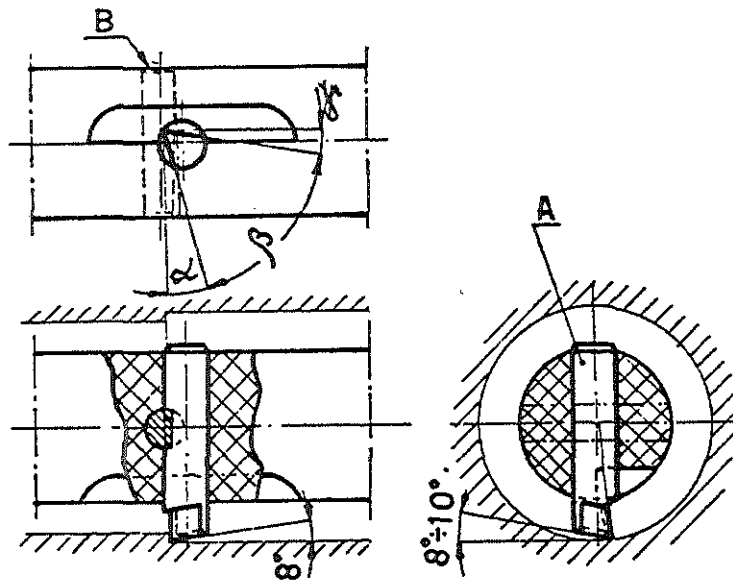


Figura 153 - Mandril com ferramenta fixa para mandrilamento de desbaste.

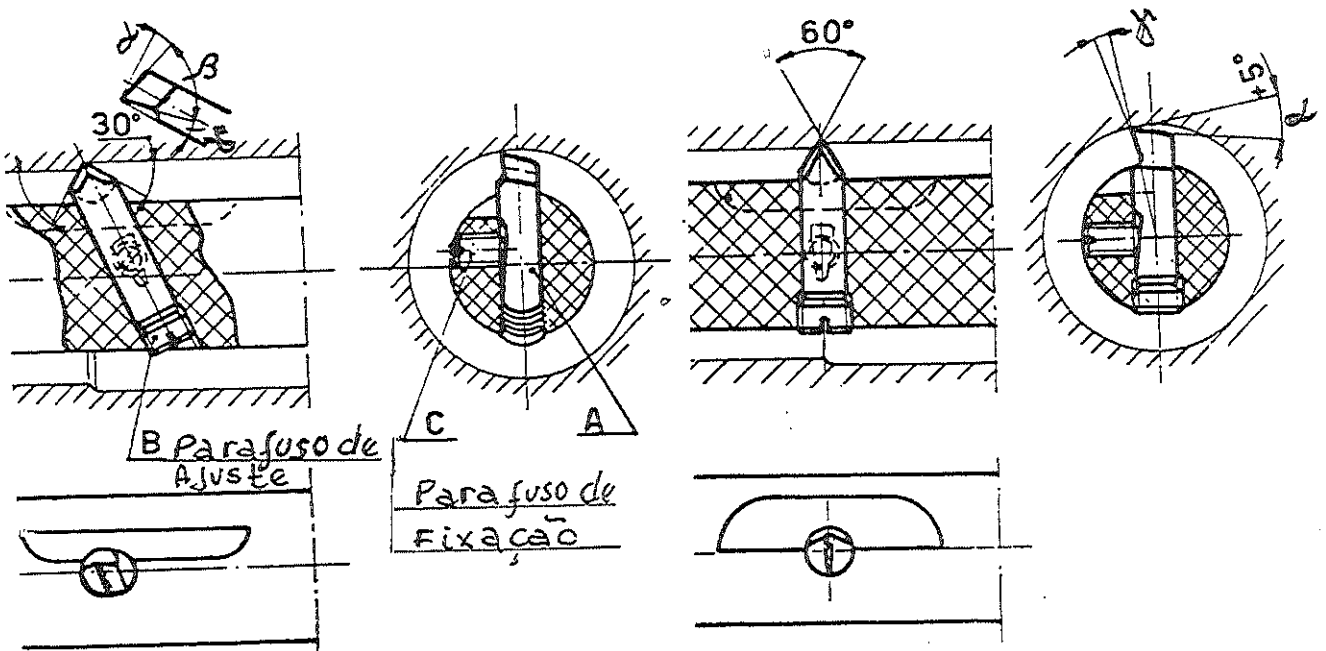


Figura 154 - Mandril com ferramenta ajustável para mandrilamento.

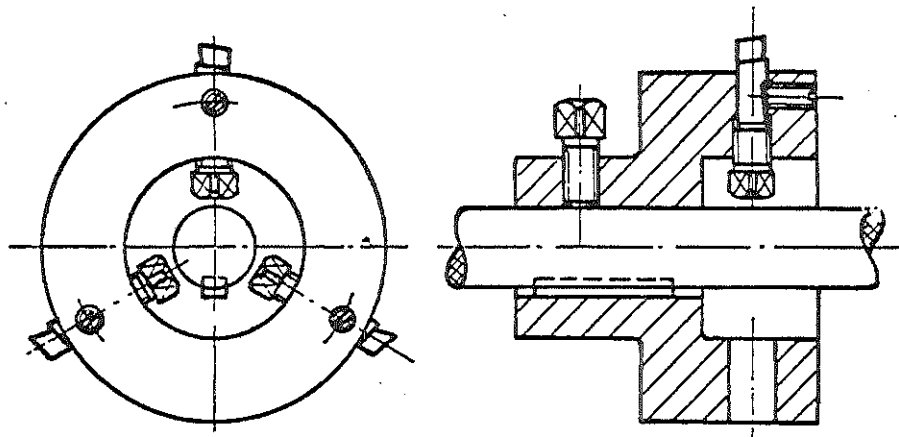


Figura 155 - Suporte para ferramentas ajustáveis para mandrilamento de desbaste.

Lâminas também são utilizadas como bico de ferramentas. São obtidas de barras retangulares na extremidade da qual se forma uma aresta cortante reta.

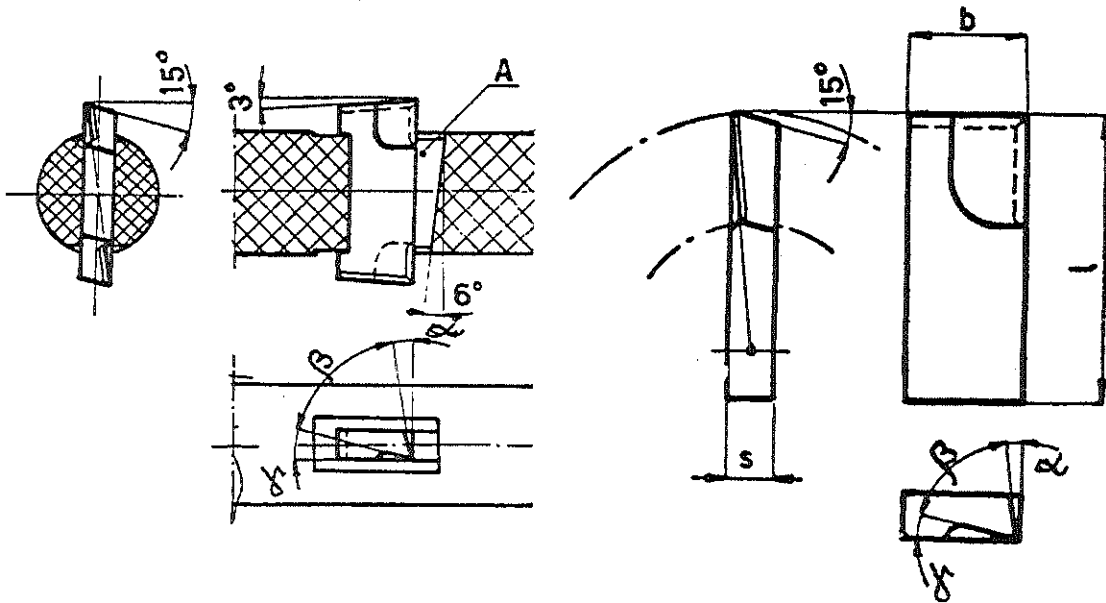


Figura 156 - Lâmina para ferramenta circular de um placo.

Além dos bicos de ferramenta existem cabeçotes especiais para serem acoplados ao mandril do cabeçote, propiciando segurança para usinagens de precisão.

2.4. Processo de Alargamento

Alargamento é a operação que tem por fim ajustar o diâmetro de um furo, produzindo um bom acabamento da superfície usinada, com grande precisão, removendo pequena quantidade de material.

O alargador é uma ferramenta multicortante, geralmente de forma cilíndrica ou cônica que, no seu movimento rotatório, serve para alargar e acabar furos.

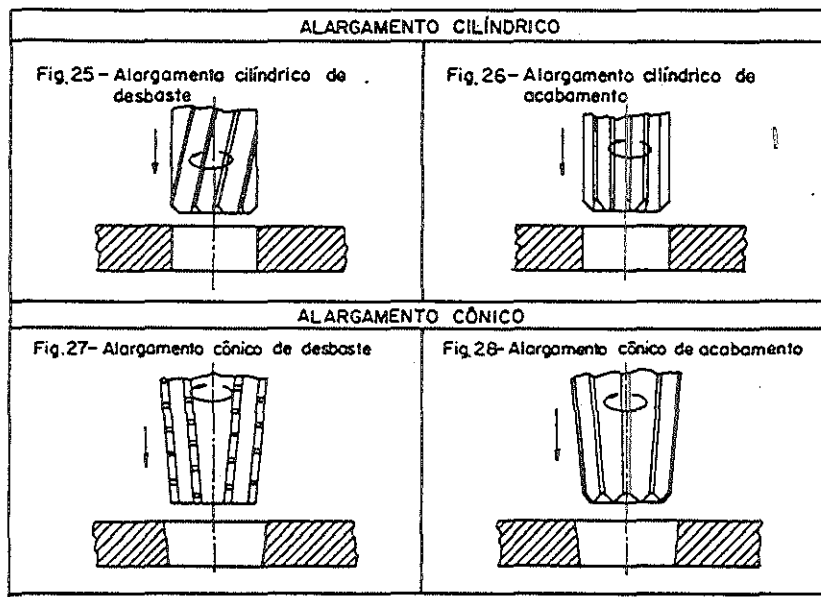


Figura 157 - Operações de alargamento.

O alargadores apresentam uma seqüência de arestas cortantes e sulcos alternados na periferia. As arestas cortantes (e sulcos) podem ser paralelos ao eixo da ferramenta ou então, helicoidais com hélice à direita ou à esquerda. As arestas helicoidais produzem um acabamento melhor, além de maior suavidade de trabalho. Os cavacos são removidos através dos sulcos.

2.4.1. Alargadores de Desbaste (Brocas de Correção)

São empregados para aumentar furos brutos de fundição ou anteriormente pré-furados, até cerca de 100 mm de diâmetro. Sua forma propicia uma boa guia e uma descarga de cavaco fácil. A qualidade obtida com alargador de desbaste é IT8 a IT9.

Os alargadores de desbaste com arestas helicoidais podem apresentar 3 ou 4 arestas cortantes, sendo preferíveis os de 4 arestas que propiciam maior rendimento e precisão. Até o diâmetro de 23 mm, podem ser de construção integral (isto é, com cabo); de 24 a 100 mm são construídos sem cabo, para serem montados sobre um suporte especial.

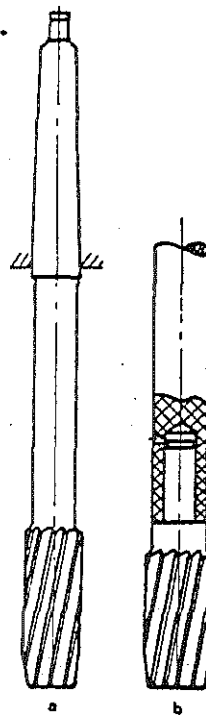


Figura 158 - Alargador de desbaste até furos de 23 mm.
a - tipo integral; b - com furo cônico

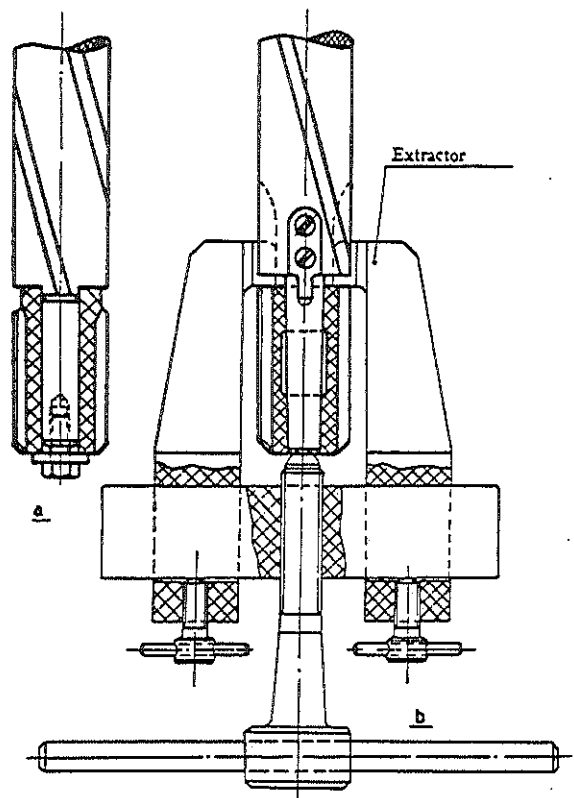


Figura 159 - Alargador de desbaste tipo bucha para furos de 24 mm a 100 mm.
a - com furo cilíndrico; b - com furo cônico.

Os alargadores fixos podem ter o cabo cilíndrico ou cônico e os furos dos alargadores tipo bucha também podem ser cilíndrico ou cônico. A parte superior cilíndrica do mandril, que serve de guia para o furo deve ser retificada; além disso, deve ter 3 ranhuras helicoidais de sentido oposto a de giro da ferramenta.

Os alargadores podem ter somente dentes laterais, porém a chanfradura da entrada deve permitir a extração do cavaco até a periferia do furo. Os alargadores que também possuem dentes frontais podem usinar maior quantidade de material e, se estiverem bem guiados pela parte superior, poderão retificar e corrigir o furo a fim de prepará-lo para a operação de acabamento.

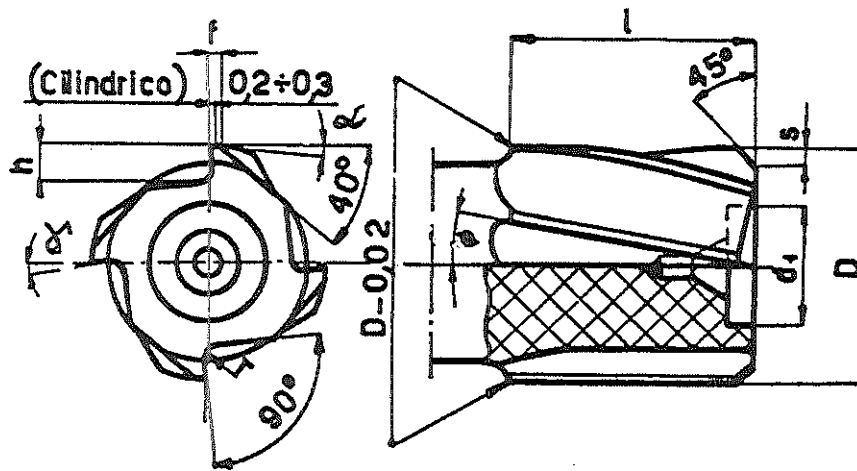


Figura 160 - Ponta de um alargador de desbaste com quatro arestas laterais.

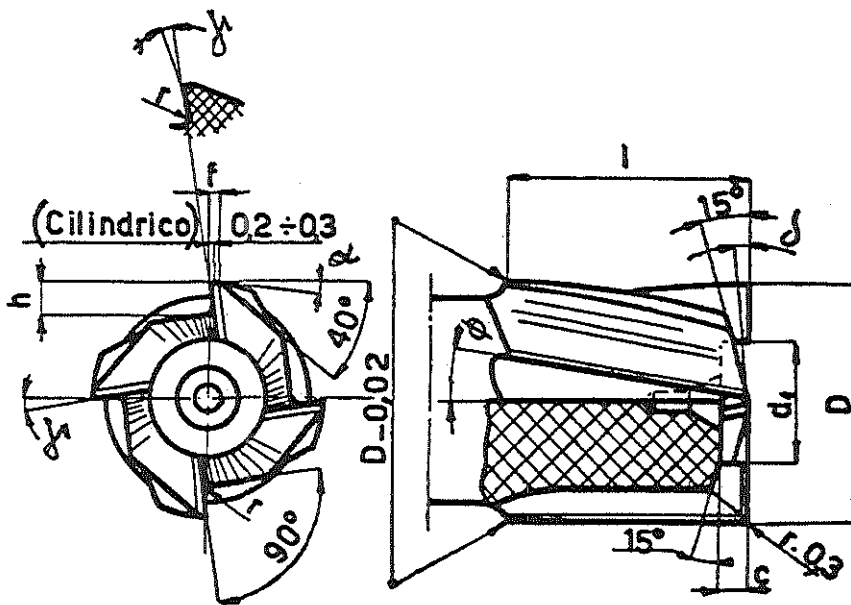


Figura 161 - Ponta de um alargador de desbaste com quatro arestas laterais e frontais.

Para trabalhos normais:

$$\alpha = 5^\circ$$

$$\phi = \gamma = 6^\circ \text{ para ferro fundido e bronze}$$

$$\phi = \gamma = 8^\circ \text{ para aço duro}$$

$$\phi = \gamma = 12^\circ \text{ a } 15^\circ \text{ para aço doce}$$

$$\phi = \gamma = 25^\circ \text{ para alumínio}$$

$$h = (0,12 \text{ a } 0,13) D$$

$$f = 1 \text{ a } 3 \text{ mm}$$

$$r_1 = 0,5 \text{ a } 1\text{mm}; r = \frac{1}{3} h$$

$$l = (1 \text{ a } 1,5) D$$

$$s = 0,1 D$$

Os diâmetros medios sobre as arestas cortantes devem diferenciar-se em um valor que varia de 0,01 a 0,04 mm, resultando uma conicidade com diâmetros menores na parte traseira.

• ESCOLHA DIÂMETRO DO ALARGADOR DE DESBASTE

Quando o acabamento final do furo for dado pelo alargador de desbaste, o diâmetro nominal do alargador deverá ser o diâmetro nominal do furo.

Quando a operação de desbaste for seguida de uma operação de alargamento de acabamento, o diâmetro nominal do alargador de desbaste deverá ser menor que o diâmetro nominal do furo, conforme o diâmetro. A tabela a seguir serve de referência.

Diâmetro Nominal do alargador (mm)	Diferença de Diâmetro (mm)
até 18	0,2
18 a 30	0,25 a 0,3
acima de 30	0,4

2.4.2. Alargadores de Acabamento

São alargadores que apresentam muitas arestas cortantes. Servem não só para alargar furos como também para calibrá-los. A espessura do material a ser retirado é da ordem de 0,1 a 0,4 mm. Cada dente retirará uma fração de metal que depende do número de dentes do alargador. Consegue-se obter furos perfeitamente lisos e calibrados, desde que se faça uso de velocidades de corte e avanços adequados; qualidade IT 7 é facilmente conseguida com uso adequado de lubrificante de corte.

As formas construtivas são as seguintes:

- . alargador fixo;
- . alargador tipo bucha;
- . alargador tipo lâminas aplicadas;
- . alargador expansível.

• ALARGADOR FIXO

Pode ser do tipo integral e do tipo desmontável para diâmetros até 20 mm. Podem ter a haste cilíndrica ou cônica, sem guia posterior, ou então, com corpo de guia.

A seguir, apresentam-se as características geométricas de alargadores de acabamento.

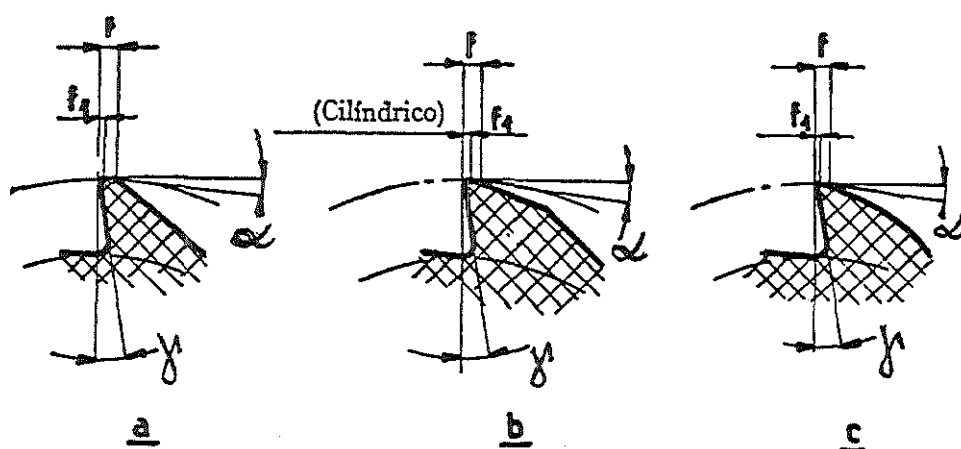


Figura 162 - Perfis de dentes sobre a seção normal.

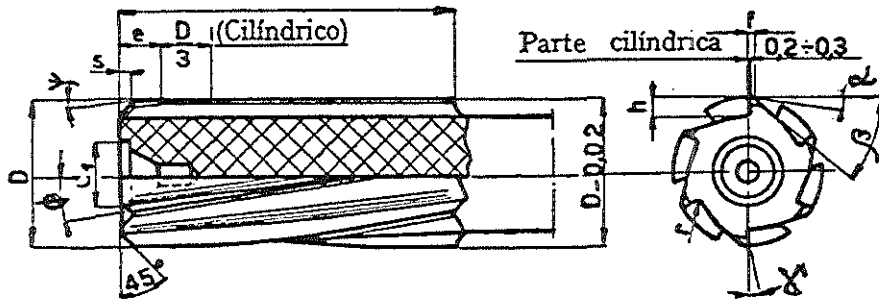


Figura 163 - Características dimensionais da região de trabalho
(D = 6 a 20 mm).

Pode-se considerar, normalmente:

$\alpha = 5^\circ$ para todos materiais

$\gamma = 20^\circ$ para metais leves

$\gamma = 10^\circ$ para aço com $\sigma_r < 40 \text{ kgf/cm}^2$

$\gamma = 8^\circ$ para aço com $\sigma_r = 40$ a 90 kgf/cm^2

$\gamma = 7^\circ$ para aço com $\sigma_r > 90 \text{ kgf/cm}^2$

$\gamma = 5^\circ$ para fofo e bronze

$\phi = 20^\circ$ para metais leves

$\phi = 8^\circ$ para aço com $\sigma_r < 40 \text{ kgf/cm}^2$

$\phi = 6^\circ$ para aço com $\sigma_r = 40$ a 90 kgf/cm^2

$\beta = 40^\circ$

$e = 3,5$ a 5 mm

$s = 0,2$ a $0,5 \text{ mm}$

$f = 0,3$ a $0,7 \text{ mm}$

$\psi = 2^\circ 30'$ para alargadores tipo máquina e furo passante

$\psi = 15^\circ$ para alargadores tipo máquina e furo cego

$h = 0,11$ a $0,13 D$

$d_1 = 0,5 D$

$$r = \left(\frac{1}{2} \text{ a } \frac{1}{3} \right) h$$

d	6	8	10	12	14	16	18	20
b	30	35	40	40	45	45	50	55

MATERIAIS	Ângulo saída	Ângulo de Folga	Ângulo de hélice	Sentido de hélice	Sentido de rotação
Metais leves	20°	5°	20°	esq.	dir.
Aço- $\sigma_r < 40 \text{ kgf/cm}^2$	10°	5°	8°	esq.	dir.
Aço- $\sigma_r = 50 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$	8°	5°	6°	dir.	dir.
Aço- $\sigma_r > 90 \text{ kgf/cm}^2$	7°	5°	9°	dir.	dir.
F° o fo e bronze	5°	5°	0°	reta	dir.

Diam. D	No. de dentes para aço, fofo, bronze	No. de dentes para usinar alumínio
até 12	4 a 6	4
de 12 a 20	6 a 8	4 a 6
de 20 a 30	8 a 10	6 a 8
de 30 a 40	10 a 12	6 a 8
de 40 a 50	12 a 14	8 a 10
de 50 a 60	14 a 16	8 a 10
de 60 a 100	16 a 20	10 a 12

O passo dos dentes, quando constante, tem a tendência a deixar marcas na superfície do furo, devido a vibração decorrente da ação periódica das forças. Para evitar esse inconveniente os alargadores são construídos com dentes helicoidais, ou, então, de passo variável. Neste último caso, os dentes devem resultar opostos dois a dois, para facilitar o controle de diâmetro do alargador.

A hélice dos dentes, tem muita importância para a execução perfeita do furo. O sentido da hélice relativamente ao sentido de rotação da ferramenta influe na força de penetração do alargador no furo - sentidos concordantes diminuem a força de penetração. Assim, para aços duros, deve-se utilizar o sentido concordante; metais leves e aço doce, o sentido discordante; fofo e bronze que produzem cavaco miúdo, dentes retos.

Constroem-se, também, alargadores com pastilhas de metal duro soldadas.

• ALARGADOR TIPO BUCHA

São usuais para diâmetros de 20 a 50 milímetros. É uma construção econômica, pois o mandril que o suporta é de aço ao carbono.

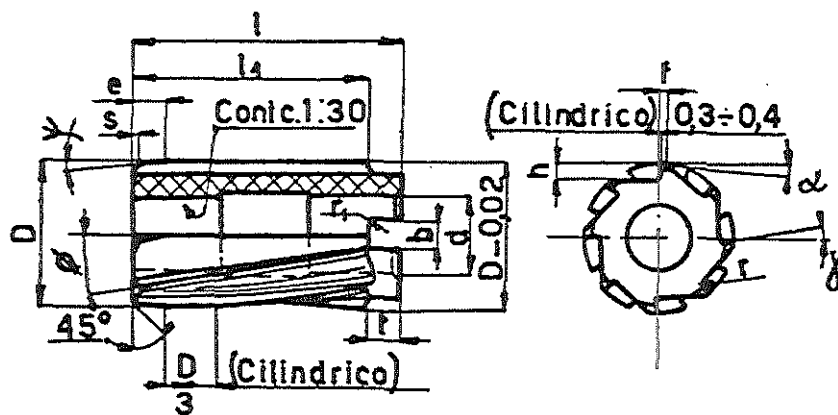


Figura 164 - Alargador tipo bucha.

• DIMENSÕES PRINCIPAIS

- $\alpha = 5^\circ$ para todos os materiais;
- $\gamma = 20^\circ$ para metais leves;
- $\gamma = 10^\circ$ para aço com $\sigma_r < 40 \text{ kgf/cm}^2$
- $\gamma = 8^\circ$ para aço com $\sigma_r = 50 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$
- $\gamma = 7^\circ$ para aço com $\sigma_r > 90 \text{ kgf/cm}^2$
- $\gamma = 5^\circ$ para fofo e bronze
- $\phi = 20^\circ$ para metais leves
- $\phi = 8^\circ$ para aço com $\sigma_r < 40 \text{ kgf/cm}^2$
- $\phi = 6^\circ$ para aço com $\sigma_r = 50 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$
- $\phi = 0^\circ$ para fofo e bronze

$\psi = 2^\circ 30'$ para alargadores de máquina e furo passante

$\psi = 15^\circ$ para alargadores de máquina e furo cego

$h = (0,11 \text{ a } 0,13) D$

$r = \frac{1}{3} h$ - para fofo, bronze e aço

$r = \frac{1}{2} h$ para ligas leves

$e = 0,5 \text{ a } 1,5 \text{ mm}$ para diâmetro de 20 a 50 mm

$e = 5 \text{ a } 10 \text{ mm}$ para alargadores de 20 a 50 mm para máquina e furos passantes

$e = 1,4 \text{ a } 3,5 \text{ mm}$ para alargadores de 20 a 50 mm para máquina e furos cegos

$f = 0,7 \text{ a } 1,4 \text{ mm}$ para diâmetros de 20 a 50 mm

$r_1 = 0,5 \text{ a } 1 \text{ mm.}$

D	d	l_1	l	b	t
18 a 24	10	28	40	4,3	5,6
24 a 28	13	32	45	4,3	5,6
28 a 34	16	36	50	5,4	6,6
34 a 40	19	40	56	6,4	8,2
40 a 48	22	45	63	7,4	9,2

• ALARGADOR TIPO LÂMINAS APLICADAS

Neste tipo, tem-se a vantagem de economizar aço rápido na construção de ferramenta, pois o corpo é de aço do carbono temperado e ratificado.

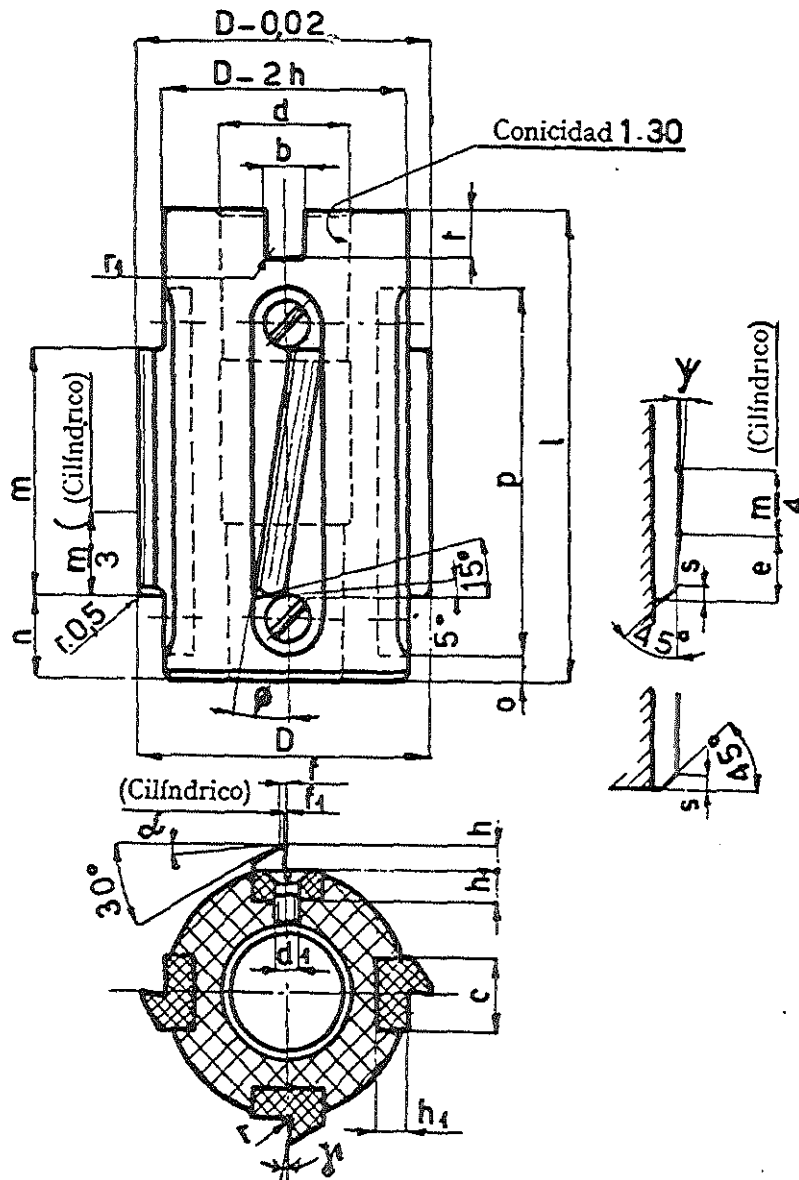


Figura 165 - Alargador com lâminas aplicadas.
(D = 60 a 100) mm

• DIMENSÕES PRINCIPAIS

$f_1 = 0,4 \text{ a } 0,5 \text{ mm}$

$f = 1,4 \text{ a } 2,7 \text{ mm}$

$r = 1/3 \text{ h}$

$r_1 = 1 \text{ mm}$

$e = 10 \text{ a } 15 \text{ mm}$

$\psi = 2^\circ 30'$

$\alpha = 5^\circ$

$\gamma = 5^\circ$ para ferro fundido e bronze;

$\gamma = 10^\circ$ para aço com $\sigma_r = 50 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$

- $\gamma = 8^\circ$ para aço com $\sigma_r > 90 \text{ kgf/cm}^2$
- $\phi = 0^\circ$ para ferro fundido e bronze
- $\phi = 6^\circ$ para aço com $\sigma_r = 50 \text{ a } 90 \text{ kgf/cm}^2$
- $\phi = 9^\circ$ para aço com $\sigma_r > 90 \text{ kgf/cm}^2$

D	d	l	m	n	o	p	b	t	h	hl	o	d1	s	No. de Fases
45 - 49	19	85	45	15	3	69	6,4	8,2	4	5	14	4 x 0,7	2,5	4
60 - 74	27	95	50	16	4	74	8,4	10,3	5	6	15	5 x 0,8	3	6
75 - 89	32	105	55	18	5	81	10,4	11,8	6	7	17	6 x 1	3,5	6
90 - 100	40	120	60	4	6	90	12,4	13	7	8	18	7 x 1	4	6 a 8

• ALARGADOR EXPANSÍVEL

São alargadores que podem variar o diâmetro através da:

- 1 - elasticidade do material;
- 2 - aplicação conveniente de planos inclinados.

Aproveitando a elasticidade do material é possível uma variação centesimal do diâmetro do alargador, enquanto que com planos inclinados consegue-se uma variação de 0,5 a 1,0 mm, dependendo do diâmetro. Podem ser construídos para trabalhar em máquinas ou podem ser manuais.

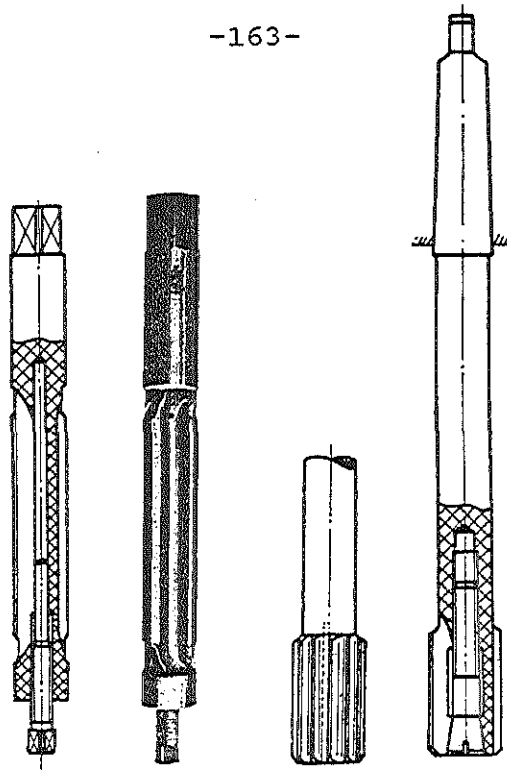


Figura 166 - Alargadores expansíveis.
a, manual; b, máquina

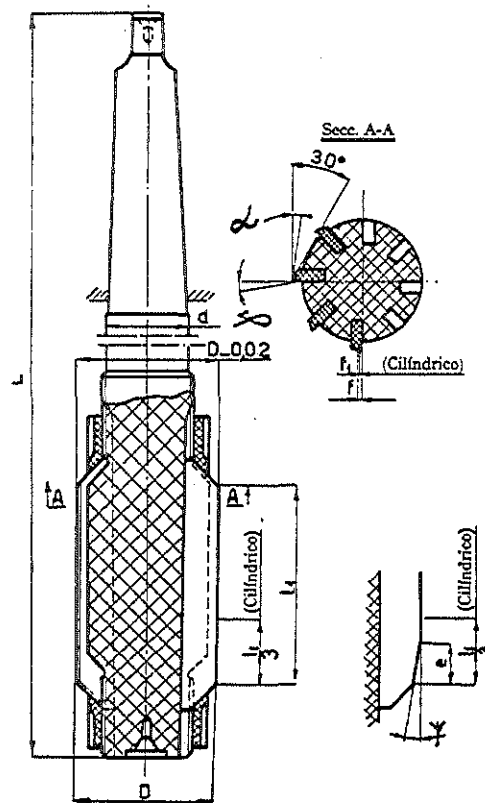


Figura 167 - Alargadores expansível para furos passantes, segundo planos inclinados.

• DIMENSÕES PRINCIPAIS

$\gamma = 5^\circ$ para fofo e bronze

$\gamma = 8^\circ$ para aço duro

$\gamma = 10^\circ$ para aço mole

$\alpha = 5^\circ$

$\psi = 2^\circ 30'$

$f_1 = 0,3$ a $0,5$ mm

$f = 0,7$ a $1,4$ para diâmetros de 22 a 50

$f = 1,4$ a $2,7$ para diâmetros de 50 a 100 mm

$e = 5$ a 10 mm para diâmetros de 22 a 50 mm

$e = 10$ a 15 mm para diâmetros de 50 a 100 mm

D	d	l	l_1	Cone Morse
22 a 33	12,5	300	45	1
23 a 25	14	300	45	1
25 a 28	16	315	48	1
28 a 33	18	330	50	2
33 a 35	19,6	330	50	2
35 a 40	21,5	340	56	2
40 a 46	25	360	60	3
46 a 50	28	375	64	3
50 a 55	30	375	64	3
55 a 65	35	400	72	4

• ALARGADORES CÔNICOS

Servem para obter superfícies cônicas ou cilíndricas escalonadas, a partir de um furo feito previamente por uma broca comum. Podem ser classificados em alargadores cônicos de desbaste e acabamento.

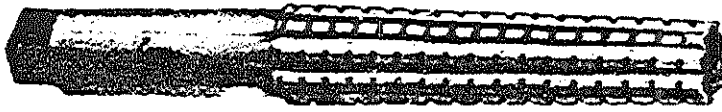


Figura 168 - Alargador cônico de desbaste.

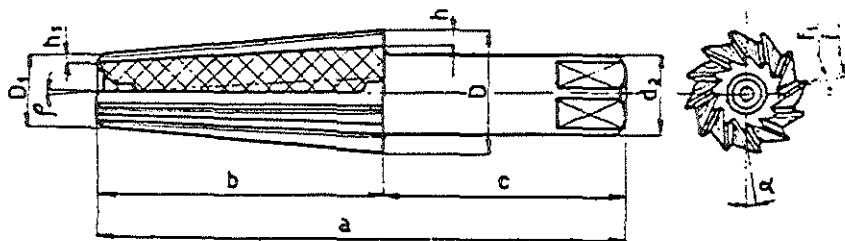
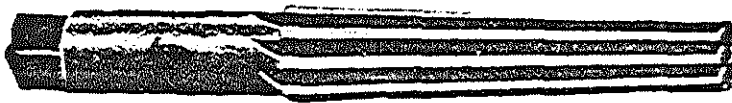


Figura 169 - Alargador cônico de acabamento.

Nos alargadores cônicos de desbaste tem-se uma ranhura helicoidal quebra-cavacos nas arestas cortantes que tem a função de facilitar a expulsão do cavaco. Os dentes podem ser retilíneos ou helicoidais.

2.4.3. Velocidade de Corte para Alargamento

MATERIAL	Resist. a Ruptura ² ou Dureza HB	Velocidade de corte (m/min.)			
		Al. Desbaste		Al. Acabamento	
		Aço Rápido	Metal Duro	Aço Rápido	Metal Duro
Aço Carbono	até 50	15 a 20	20 a 30	8 a 10	12 a 16
	50 - 70	14 a 18	20 a 30	6 a 8	10 a 14
	70 - 90	10 a 15	20 a 30	4 a 7	9 a 13
	90 - 120	10 a 15	20 a 30	3 a 5	8 a 12
Aço ligado	100 - 120	10 a 15	20 a 30	2 a 3	5 a 8
Fofo cinzento	até 200HB	15 a 20	20 a 30	7 a 9	12 a 15
Fofo nodular		12 a 15	15 a 25	4 a 6	8 a 11
Bronze		40 a 50	35 a 45	9 a 11	10 a 12

2.4.4. Os Processos para Obtenção de Furos de Precisão

O julgamento da precisão de um furo é feito, levando-se em consideração os seguintes fatores:

- a) A posição do furo,
- b) A direção do eixo do furo,
- c) O formato do furo,
- d) A tolerância do furo,
- e) A rugosidade superficial do furo.

Será analisado em seguida cada um destes fatores.

• A POSIÇÃO DO FURO

Supondo um posicionamento correto do eixo árvore da furadeira; e obtenção das coordenadas do centro do furo depende principalmente da ferramenta e de sua guia dentro da peça.

A broca helicoidal é guiada através da ponta e através das duas estrias. Uma vez que a aresta transversal da broca praticamente não corta o material, mas sim o comprime e esmaga; a broca é desviada do centro previsto quando se inicia a furação. A fim de evitar este desvio, a ponta da broca deve ser convenientemente guiada (bucha de furação) ou deve-se reduzir a influência desfavorável da aresta transversal de corte, empregando uma broca de centro ou uma perfuração com uma broca de diâmetro menor.

A mandrilagem é empregada para aumentar o diâmetro de furos perfurados ou fundidos. Dependendo da precisão das coordenadas do centro do furo primitivo, pode-se ter a mandrilagem centrada ou a mandrilagem excêntrica. Na mandrilagem centrada, o eixo do furo acabado coincide com o eixo do mandril, enquanto que na mandrilagem excêntrica tais eixos coincidem apenas aproximadamente. Neste caso, quando há exigências severas quanto à precisão do furo, várias passadas tornam-se necessárias.

O alargador de desbaste é empregado para aumentar o diâmetro de furos obtidos por meio de uma broca helicoidal; possuem três a mais arestas cortantes e uma ponta em forma de tronco de cône. No alargamento de furos com coordenadas de centro precisas, tais coordenadas podem ser mantidas facilmente. No entanto, se as coordenadas do centro do furo forem diferentes das previstas, o alargador de desbaste sempre se desviará, pois as seções variáveis de cavaco produzirão forças principais de corte variáveis, dando origem a componentes que desviam o alargador.

O alargador de acabamento não exerce nenhuma influência sobre as coordenadas do centro do furo. Uma vez que o alargador de acabamento é guiado no furo, a posição do centro deste furo não poderá mais ser mudada. Em muitos casos, é conveniente o emprêgo de um mandril articulado intercalado entre o eixo árvore da máquina e a ferramenta, para facilitar o avanço do alargador de acabamento na direção do furo.

• A DIREÇÃO DO EIXO DO FURO

A exigência de serem coincidentes, o eixo do furo e do eixo árvore da furadeira é satisfeita somente se a ferramenta não se desviar. A broca se desvia, por exemplo, quando encontra inclusões duras ou poros no material furado; neste caso a força que atua sobre uma das arestas cortantes será maior que a força que atua sobre a outra aresta cortante, desviando a broca da sua direção primitiva de avanço.

Na mandrilagem de furos com eixos centrados, a ponta da ferramenta descreve uma circunferência com centro no eixo do mandril. Sob a ação das forças de corte, o mandril flete até estabelecer o equilíbrio entre as forças de corte e a força elástica. Porém, a direção do eixo do furo é sempre mantida.

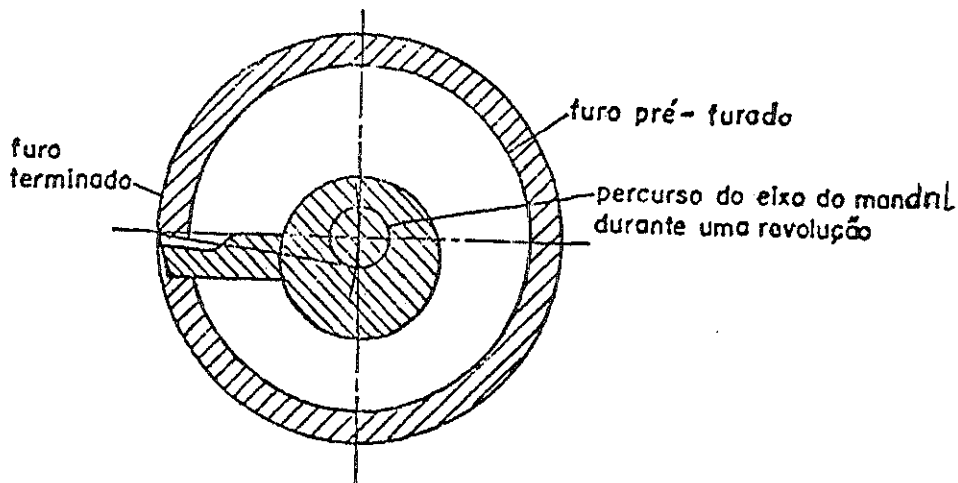


Figura 170 - Mandrilagem de furo com eixo centrado.

As condições na mandrilagem de furos com eixos excêntricos são semelhantes às de mandrilagem de furos com eixos centrados. Apesar da ponta da ferramenta e do eixo do mandril não descreverem exatamente circunferência, em virtude das forças de corte variáveis, a posição do eixo do furo é obtida com suficiente precisão.

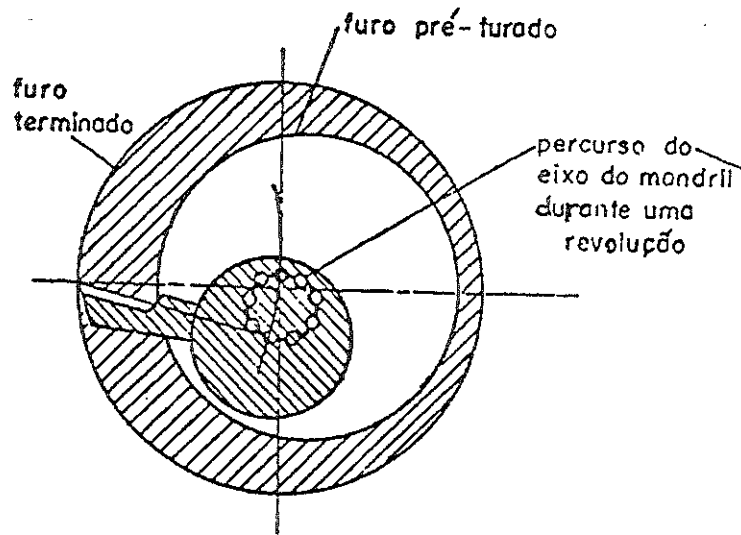


Figura 171 - Mandrilagem de um furo com eixo excêntrico.

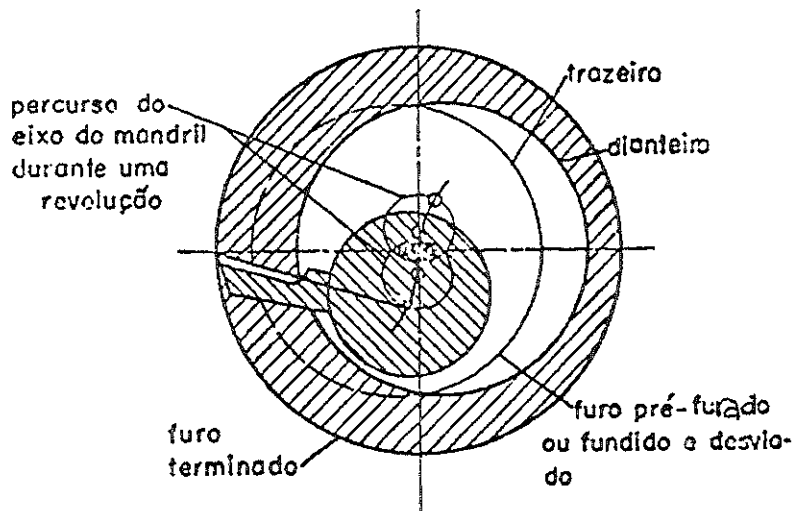


Figura 172 - Mandrilagem de um furo com eixo excêntrico e desviado.

Empregando um alargador de desbaste com três ou mais arestas cortantes, a direção do furo é mantida apenas nos furos com eixos centrados. No alargamento de furos com eixos excêntricos, as forças que atuam sobre as arestas cortantes são diferentes desviando o alargador da sua direção primitiva; assim sendo, o eixo do furo será sempre inclinado em relação ao eixo geométrico do eixo árvore.

O alargador de acabamento avança sempre na direção do furo não sendo, portanto, adequado para mudar a direção do eixo do furo a não ser que o alargador receba uma guia adicional.

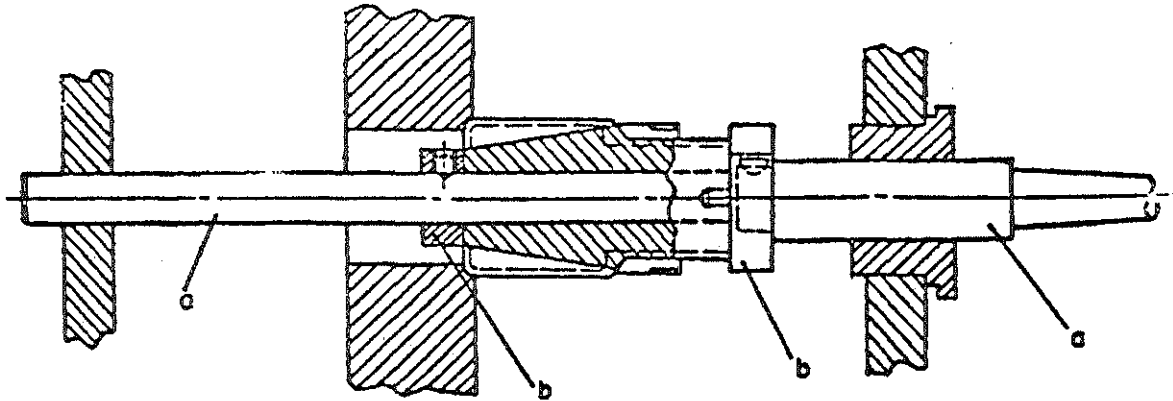


Figura 173 - Porta-ferramenta para alargador de acabamento com guia adicional: a) guias do porta-ferramental;
b) porcas para a fixação do alargador

• O FORMATO DO FURO

Um furo é considerado cilíndrico se tiver seções circulares de diâmetro constante e um eixo retilíneo. Em geral, os furos obtidos por meio de brocas helicoidais não satisfazem estas exigências uma vez que a broca apresenta uma ligeira conicidade no sentido de uma diminuição do diâmetro em direção ao cabo. Desta forma, a broca é guiada apenas pelas estrias, próximo a ponta. Além disto, a aresta transversal não corta, mas sim esmaga o material, podendo desviar a broca da sua direção.

Na mandrilagem se o avanço for efetuado pelo mandril, o furo resultante poderá ser cônico ou abaulado, dependendo do tipo de apoio do mandril, pois a flecha do mandril varia em função da distância da ferramenta ao apoio.

No entanto se o avanço for efetuado pela peça, a

flecha do mandril permanecerá constante e obtém-se na mandrilagem de furos com eixos centrados, furos cilíndricos. Um furo com eixo excêntrico terá formato apenas aproximadamente cilíndrico após a primeira passada da ferramenta.

Empregando um alargador de desbaste obtém-se um furo cilíndrico se o eixo do furo primitivo for centrado. Alargando um furo com eixo excêntrico, obter-se-á um furo ovalizado em virtude do desbaste do alargador. Se ainda o eixo do furo primitivo estiver inclinado em relação ao eixo geométrico do eixo árvore, resultará um furo com eixo curvelíneo.

No alargamento de acabamento, praticamente se obtém o formato cilíndrico teórico.

Os desvios observados correspondem aos desvios apresentados por furos retificados de qualidade média.

• A TOLERÂNCIA DO FURO

O furo obtido por meio de uma broca helicoidal, um alargador de desbaste ou um alargador de acabamento sempre terá um diâmetro maior que a ferramenta. Esta diferença de diâmetro define a tolerância do furo e depende, além do tipo da ferramenta e do material, também das condições de usinagem, dos ângulos da ferramenta, da afiação, do refrigerante de corte, do apoio do eixo árvore da furadeira, etc..

A diferença de diâmetro é maior na furação com broca helicoidal, a qual não possui uma guia suficiente. Estas diferenças se situam entre 0,1 a 0,9 mm, dependendo do diâmetro da broca.

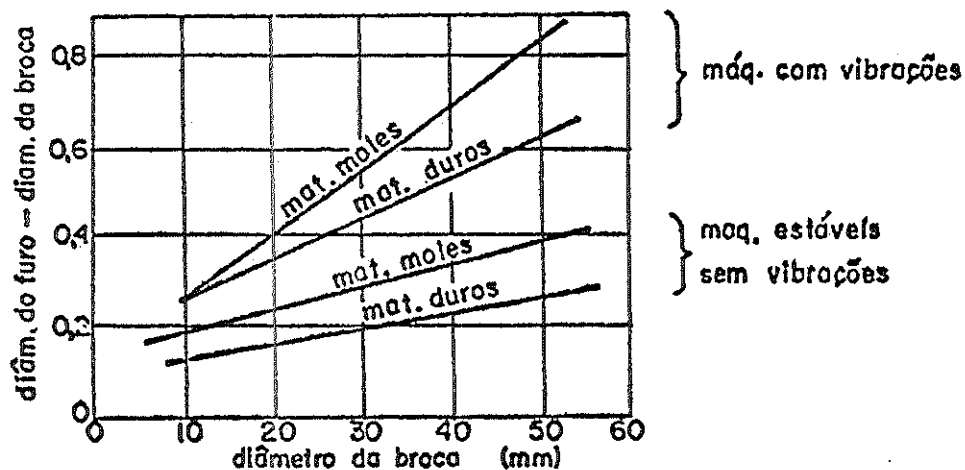


Figura 174 - Diferença de diâmetro da broca e do furo obtido, ΔD .

Os alargadores de acabamento podem ser empregados para o acabamento final de furos cuja tolerância corresponda normalmente à qualidade IT7. A diferença de diâmetros pode ser reduzida mediante a escolha de refrigerantes e lubrificantes adequados.

• A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO FURO

Para o acabamento do furo, os principais responsáveis são o material da peça, a ferramenta, a máquina e as condições de usinagem. Empregando brocas helicoidais, alargadores de desbastes ou ferramentas de barra, surgem ranhuras na parede do furo, cuja profundidade e largura dependem, entre outros, do avanço. O avanço das operações de furação e de alargamento de desbaste deve ser escolhido tal que as ranhuras produzidas possam ser facilmente eliminadas pela operação subsequente de alargamento de acabamento. Além disto, a parede do furo pode ser danificada durante a furação ou o alargamento de desbaste, se a remoção do cavaco for insuficiente.

Ao contrário do que acontece na furação e no alargamento de desbaste, na mandrilagem podem-se realizar

trabalhos de desbaste, de alisamento e de acabamento fino. O acabamento superficial obtido depende, em analogia com o que acontece no torneamento, da velocidade de corte e do avanço.

O acabamento final de furos de diâmetro pequeno até médio é feito por meio do alargamento de acabamento. Nesta operação, o acabamento superficial do furo é melhorado pela ferramenta.

Em seguida vai-se mostrar por meio de alguns exemplos os processos de obtenção de furos de alta precisão dentro de tolerâncias dadas. Partindo da precisão requerida, a seqüência das operações e a seleção das ferramentas decorrem do exposto anteriormente. Furos precisos até cerca de 12 mm de diâmetro, geralmente, são furados e alargados com alargador de acabamento (figura 175), enquanto que para os diâmetros maiores são necessários pelo menos três etapas que são furação (debaste), alargamento de desbaste (alisamento), e alargamento de acabamento (acabamento), (figura 176). No caso de furos fundidos a furação com a broca helicoidal pode ser omitida (figura 177).

Quando se requer uma tolerância de alguns centéssimos de milímetros, o número de etapas deve ser aumentado (figura 178). Freqüentemente pode-se dispensar a operação final com o alargador de acabamento, uma vez que a precisão e o acabamento superficial obtidos pela mandrilagem geralmente são suficientes.

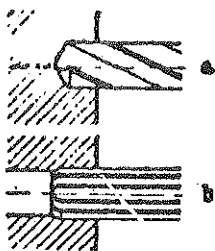


Figura 175 - Acabamento de furos até 12 mm de diâmetro (pequena precisão), empregando-se: a) furção com diâmetro 0,2 mm menor; b) alargamento de acabamento.

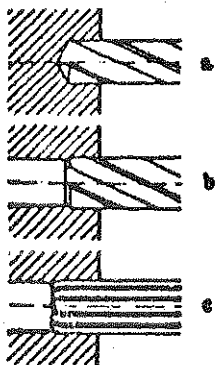


Figura 176 - Acabamento de furos com diâmetro acima de 12 mm (pequena precisão) empregando-se: a) furção com diâmetro 2,0 mm menor; b) alargamento de desbaste com 0,2 mm menor; c) alargamento de acabamento.

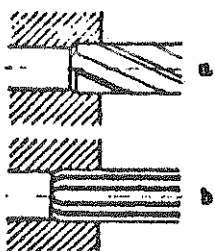


Figura 177 - Acabamento de furos com alargadores (pequena precisão) no caso de furos prévios, empregando-se: a) alargamento de desbaste, com diâmetro 0,2 a 0,3 mm menor; b) alargamento de acabamento.

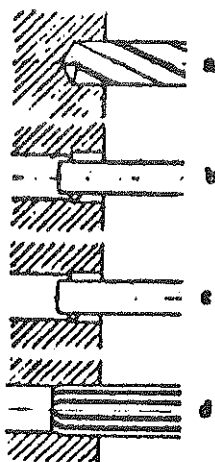


Figura 178 - Acabamento de furos (grande precisão) empregando-se: a) furção com broca de 2 a 3 mm menor; b) mandrilamento de desbaste, com diâmetro de 0,3 a 0,4 mm menor; c) mandrilamento de acabamento com diâmetro de 0,03 a 0,05 mm menor; d) alargamento de acabamento.